



Gdański Uniwersytet Medyczny
Wydział Nauk o Zdrowiu z Instytutem Medycyny Morskiej i
Tropikalnej

Mgr Bartosz Wilczyński

**Dynamiczna koślawość kolana i dynamiczna
równowaga u młodych sportowców. Zdolności
motoryczne oraz prewencja urazów narządu ruchu**

Rozprawa na stopień doktora nauk o zdrowiu

Promotor: prof. dr hab. Katarzyna Zorena

Promotor pomocniczy: dr n. med. Agnieszka Sobierajska-Rek

Gdańsk, 2022

Serdecznie podziękowania składam

Mojej promotor Pani **prof. dr hab. Katarzynie Zorenie**

za nieocenione wsparcie, dobre słowo, wyrozumiałość i cierpliwość, za poświęcony czas, cenne rady oraz poszerzenie horyzontów naukowych.

Promotor pomocniczej Pani **dr Agnieszce Sobierajskiej-Rek**

za cenne wskazówki i życzliwość oraz owocną współpracę.

Wszystkim Współautorom prac oraz osobom, które pomogły w realizacji badań naukowych

Źonie za zrozumienie i cierpliwość

Rodzicom za wszechobecne wsparcie i wiarę

Spis treści

Wykaz prac wchodzących w skład rozprawy doktorskiej.....	4
1. Wprowadzenie.....	8
1.1 Prewencja urazów w młodzieżowym sporcie	9
1.2 Czynniki ryzyka wystąpienia urazów	12
1.3 Wzorzec ruchowy – dynamiczne koślawienie kolana	13
1.3.1 Możliwości oceny dynamicznej koślawości kolana	14
1.3.2 Modyfikowalne czynniki występowania wzorca dynamicznej koślawości kolana	15
1.3.3 Ćwiczenia fizjoterapeutyczne w redukowaniu dynamicznej koślawości kolana	20
1.4 Dynamiczna równowaga.....	20
1.4.1 Modyfikowalne czynniki ograniczenia dynamicznej równowagi ..	22
1.4.2 Ćwiczenia fizjoterapeutyczne w poprawie dynamicznej równowagi.....	23
1.5 Wydajność zadań skoku i lądowania oraz moc kończyn dolnych	24
1.6 Znaczenie dojrzewania biologicznego w sporcie dzieci i młodzieży ..	25
2. Cele pracy.....	27
3. Publikacja oryginalna 1	28
4. Publikacja oryginalna 2	36
5. Publikacja oryginalna 3	45
6. Publikacja oryginalna 4	50
5. Wnioski końcowe	58
6. Wykaz cytowanego piśmiennictwa	60
7. Streszczenie	71
8. Abstract.....	73
9. Spis tabel i rycin.....	75
10. Załączniki	77

Wykaz prac wchodzących w skład rozprawy doktorskiej

I. **Wilczyński B*(autor korespondencyjny)**, Zorena K, Ślęzak D.

Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(21):8208. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218208>

Impact Factor: 3.390, MNiSW: 140.000, Q1

II. **Wilczyński B*(autor korespondencyjny)**, Hinca J, Ślęzak D, Zorena K.

The Relationship between Dynamic Balance and Jumping Tests among Adolescent Amateur Rugby Players. A Preliminary Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(1):312. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010312>

Impact Factor: 4.614, MNiSW: 140.000, Q1

III. **Wilczyński B*(autor korespondencyjny)**, Radzimiński Ł, Agnieszka Sobierajska-Rek, Zorena K.

Association between Selected Screening Tests and Knee Alignment in Single-Leg Tasks among Young Football Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(11):6719. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116719>

Impact Factor: 4.614, MNiSW: 140.000, Q1

IV. **Wilczyński B*(autor korespondencyjny)**; Radzimiński, Ł.; Sobierajska-Rek, A.; de Tillier, K.; Bracha, J.; Zorena, K.

Biological Maturation Predicts Dynamic Balance and Lower Limb Power in Young Football Players. *Biology* **2022**, *11*, 1167. <https://doi.org/10.3390/biology11081167>

Impact Factor: 5.168, MNiSW: 100.000, Q1

V. **Wilczyński B*(autor korespondencyjny)**, Wąż P, Zorena K.

Impact of Three Strengthening Exercises on Dynamic Knee Valgus and Balance with Poor Knee Control among Young Football Players: A Randomized Controlled Trial. *Healthcare*. 2021; 9(5):558. <https://doi.org/10.3390/healthcare9050558>

Impact Factor: 3.160, MNiSW: 40.000, Q2

Sumaryczna punktacja:
Impact Factor: 20.946

MNiSW: 560.000

WYKAZ SKRÓTÓW ZASTOSOWANYCH W PRACY

ACL – *Anterior Cruciate Ligaments* – Więzadło Krzyżowe Przednie

PFP – *Patellofemoral Pain* – Ból stawu rzepkowo-udowego

DKV – *Dynamic Knee Valgus* – Dynamiczne Koślawienie Kolana

DVJ – *Drop Vertical Jump* – Zeskok wertykalny

DLL – *Double Leg Landing* – Lądowanie obunóż

SLL – *Single Leg Landing* – Lądowanie jednoonóż

SLS – *Single Leg Squat* – Przysiad jednoonóż

WBLT – *Weight Bearing Lunge Test* – test wykroku z ciężarem ciała

PSLR – *Passive Single Leg Raise* – pasywne unoszenie wyprostowanej kończyny dolnej

Hip IR ROM – *Hip Internal Rotation Range of Motion* – pasywny zakres ruchu rotacji wewnętrznej stawu biodrowego

Hip ER ROM – *Hip External Rotation Range of Motion* – pasywny zakres ruchu rotacji zewnętrznej stawu biodrowego

FPPA – *Frontal Plane Projection Angle* – kąt projekcji w płaszczyźnie czołowej

SEBT – *Star Excursion Balance Test* – test równowagi, test "gwiazdy"

mSEBT – *Modified Star Excursion Balance Test* – zmodyfikowany test równowagi, test "gwiazdy"

YBT – *Y-Balance Test* – test równowagi "Y"

CMJ – *Countermovement Jump* – skok wertykalny obunóż, skok przeciwny do ruchu

SLHD – *Single Leg Hop for Distance* – skok jednoonóż w dal

LESS – *Landing Error Score System* – System oceny błędów lądowania

BMI – *Body Mass Index* – Wskaźnik masy ciała

PHV – *Peak Height Velocity* – Szczytowa Prędkość Wzrostu

MCID – *Minimal Clinical Important Difference* – minimalnie klinicznie ważna różnica

SEM – *standard error of measurement* – błąd standardowy pomiaru

CONSORT - *Consolidated Standards of Reporting Trials* – skonsolidowane standardy raportowania badań klinicznych

1. Wprowadzenie

Postępując się na wstępie łacińską sentencją Verba docent, exempla trahunt – „słowa uczą, przykłady pociągają”, warto przytoczyć przykłady sportowców, którzy osiągnęli sukces, jednakże nie mieli do niego łatwej drogi. Lionel Messi (argentyński piłkarz, który zdobył popularność na całym świecie) zanim wszedł na piedestał kariery musiał w swoich młodszych latach stawić czoło licznym kontuzjom oraz zmagać się z niedoborem hormonu wzrostu (opisywany wówczas jako „delikatny Leo”). Usain Bolt (jamajski medalista igrzysk olimpijskich w sprincie) już na początku swojej kariery został zdiagnozowany z trójpłaszczyznowym skrzywieniem kręgosłupa (skoliozą kręgosłupa), mimo to pobił liczne rekordy świata w biegu na dystansie 100 metrów. Wśród polskich przedstawicieli sportu, Robert Lewandowski (znany na całym świecie polski piłkarz) w młodym wieku, nieomal nie zakończył kariery piłkarskiej z powodu dość powszechnego (z perspektywy dzisiejszych czasów) urazu mięśnia dwugłowego uda. Przykładów wybitnych sportowców, którzy osiągnęli sukcesy mimo, że w wieku dziecięcym zmagali się z problemami narządu ruchu, jest wiele. Jednakże, wydaje się, że liczba sportowców, których „zatrzymały” kontuzje i nie załapali się na swój czas w świecie sportu może być znacznie większa liczba. Pytanie jakie można zadawać jest: Czy dało się zapobiec tym kontuzjom? Jakimi były przyczyny ich powstania? W niniejszej pracy doktorskiej autor podejmuje próbę odpowiedzi na te pytania.

Poprawa zdrowia, rywalizacja, przyjemność, uspołecznienie to tylko niewielka część powodów, dla których dzieci i młodzież na całym świecie uprawiają sport. Treningi sportowe zawierają m.in. elementy ćwiczeń aerobowych i anaerobowych o średniej i wysokiej intensywności z okresami obciążeń beztlenowych. Nawet krótkoterminowy okres, od kilku do kilkunastu tygodni rekreacyjnego treningu piłkarskiego poprawia wskaźniki układu

mięśniowo – szkieletowego, metabolicznego, sercowo – naczyniowego, co ma oczywisty pozytywny wpływ na stan zdrowia [1,2].

Jednakże, z uwagi m.in. na wysoką intensywność ćwiczeń, zmęczenie, częste zmiany kierunku biegu, przyspieszeń, skoków, prędkości, jak również uderzenia, kontakt z innymi graczami, istnieje ryzyko wystąpienia kontuzji układu mięśniowo – szkieletowego. Prowadzi to do negatywnych skutków u indywidualnych młodych sportowców oraz do obciążenia systemu opieki zdrowotnej, co wykazano na przykładzie wizyt na oddziałach ratunkowych [3,4]. Znane są analizy ze Szwajcarii, gdzie koszty opieki zdrowotnej ze względu na piłkarskie urazy wyniosły 170 milionów dolarów amerykańskich w 2017 roku [5].

1.1 Prewencja urazów w młodzieżowym sporcie

Zarządzanie rozwojem młodych sportowców jest trudnym i wymagającym zadaniem, z uwagi na występujące w przebiegu kariery kontuzje sportowe. Dlatego, fundamentem opieki nad młodymi sportowcami trenującymi amatorsko czy zawodowo powinna być prewencja urazów.

Piłkarze w wieku 13-19 lat doznają od 1 do 5 urazów na 1000 godzin treningu i od 15 do 20 urazów na 1000 godzin gry meczowej. Zdecydowana większość urazów dotyczy kończyn dolnych (od 60 do 90%) [2,6,7]. Najpowszechniejszymi rodzajami kontuzji są naciągnięcia (mięśni, ścięgien), stłuczenia i naderwania/skręcenia (stawów, więzadeł) [7]. Wskaźnik urazów wzrasta liniowo w przedziale wiekowym 9-15 lat wśród piłkarzy męskich, z wyraźnym wzrostem w wieku 13 lat [2,6]. Również w młodzieżowym rugby obserwujemy zwiększone ryzyko urazów. Istnieje powszechna zgoda wśród badaczy, że ze względu na specyfikę tego sportu, jego uczestnicy są narażeni na większą częstotliwość urazów układu mięśniowo-szkieletowego [8–10]. W prospektywnym badaniu kohortowym przeprowadzonym przez Haseler i wsp. w 2010 roku, dotyczącym urazów wśród młodych angielskich

zawodników rugby, stwierdzono ogólny wskaźnik urazów zawodników na poziomie 24/1000 godz. [8]. Choć urazy w rugby młodzieżowym są rzadsze

i mniej poważne niż w rugby dorosłych, to ryzyko urazu wzrasta wraz z wiekiem [8].

Sport promuje zdrowy styl życia i ma znaczący wpływ na zmniejszenie czynników ryzyka chorób cywilizacyjnych. Niestety, wystąpienie poważnej kontuzji w trakcie kariery może odwrócić młodych sportowców od kontynuowania uprawiania sportu. Wystąpienie kontuzji może również negatywnie wpłynąć na postrzeganie danej dyscypliny przez rodziców zawodnika [11]. Dlatego też, profilaktyka urazów w populacji dzieci i młodzieży jest kluczowym aspektem praktyki specjalistów związanych ze sportem. Rosnąca liczba urazów zarówno przeciążeniowych, jak i ostrych w sporcie młodzieżowym wymusza potrzebę poszukiwania nowych, bardziej skutecznych programów profilaktycznych. Znane w literaturze, programy takie jak „FIFA 11+” czy „Prevention Exercise Program” wydają się być skuteczne w ograniczaniu liczby urazów ogółem [12–14]. Jednak poważne urazy, takie jak zerwanie więzadła krzyżowego przedniego (Anterior Cruciate Ligament – ACL) w tzw. sytuacjach bezkontaktowych (bez kontaktu z innym zawodnikiem lub przedmiotem/obiektem) nadal występują, pomimo stosowania programów profilaktycznych [12]. Ponadto, badania wykazały niepokojący wzrost liczby urazów ACL wśród dzieci i młodzieży w ostatnich latach [15,16]. Poważne urazy mają znaczące konsekwencje dla rozwoju fizycznego i psychicznego młodych sportowców [17]. Beck i wsp. stwierdzili, że ogólna częstość występowania urazów ACL wzrastała rocznie o 2,3% w ciągu ostatnich 20 lat. Ponadto, zawodnicy w wieku 15-16 lat wykazali największy wzrost liczby urazów ACL [15]. Wśród dorosłych mężczyzn uprawiających piłkę nożną wskaźnik urazów ACL nie wykazywał tendencji malejącej od kilku lat. Ponadto, tylko 65% zawodników powróciło do najwyższego poziomu sportowego po 3 latach od rekonstrukcji ACL, co wskazuje na spadek wyników sportowych w dłuższym okresie [7].

Do problemów związanych z ćwiczeniami profilaktycznymi należą między innymi: długi czas trwania, wymagany specjalistyczny sprzęt, trudności w wykonywaniu ćwiczeń wymagających stałej opieki trenerów lub fizjoterapeutów. Rozwiązaniem powyższych problemów może być stosowanie mniejszej liczby ćwiczeń, skrócenie czasu ich wykonywania, wybór mniej skomplikowanych ćwiczeń, bez użycia specjalistycznego sprzętu, które mogą być wykonywane samodzielnie przez dzieci i młodzież w domowych warunkach. Dlatego też, istnieje potrzeba poszukiwania nowych, ukierunkowanych rozwiązań, również jako uzupełnienie istniejących programów profilaktycznych. Co ważne, ukierunkowany trening profilaktyczny może skupiać się na konkretnym czynniku ryzyka.

Próba rozwiązania tych problemów została podjęta w randomizowanym badaniu kontrolowanym opisanym w późniejszych rozdziałach: *Impact of Three Strengthening Exercises on Dynamic Knee Valgus and Balance with Poor Knee Control among Young Football Players: A Randomized Controlled Trial* **Wilczyński B.**, Wąż P, Zorena K, Healthcare. 2021; 9(5):558.

1.2 Czynniki ryzyka wystąpienia urazów

Przez dekady badacze starają się zidentyfikować modyfikowalne czynniki ryzyka oraz stworzyć i wdrożyć interwencje mające na celu ich zminimalizowanie lub wyeliminowanie. Próby identyfikacji czynników ryzyka wynikają ze wzrostu liczby urazów, takich jak zerwanie więzadła krzyżowego przedniego (ACL), oraz schorzeń przeciążeniowych, takich jak ból stawu rzepkowo-udowego (Patellofemoral Pain - PFP) wśród sportowców w ostatnich latach [18,19]. Złożoność problemu urazów wymaga wieloczynnikowego i wielokierunkowego podejścia, mając na uwadze ekspozycję na uraz, która często zmienia się w czasie [20,21]. Wyzwaniem jest również współistnienie 1) zewnętrznych czynników ryzyka, takich jak błędy treningowe czy środowisko, oraz 2) wewnętrznych czynników ryzyka, takich jak zmniejszona siła mięśniowa, ograniczona dynamiczna równowaga, zaburzone wzorce ruchowe czy ograniczony zakres ruchu stawów. Istnieją dowody naukowe wskazujące, iż zaburzenia równowagi i obniżenie siły w kończynach dolnych są istotnymi wewnętrznymi czynnikami ryzyka urazów wśród młodzieży [22]. Co więcej, młodzi sportowcy, którzy mieli zwiększony kąt dynamicznej koślawości kolan podczas przysiadu jedno nogi (Single Leg Squat – SLS), byli 2,7 razy bardziej narażeni na urazy kończyn dolnych [23]. Co wskazuje na to, iż błędy we wzorcach ruchowych mogą przyczyniać się do zwiększonego ryzyka kontuzji.

Aby lepiej kontrolować wspomniane czynniki, należy poznać potencjalne przyczyny tworzące lub predysponujące do ich wystąpienia. Zastosowanie testów oceniających (czynniki ryzyka urazu) dynamiczną równowagę, zdolności skoku, wzorce ruchowe kończyn dolnych wydaje się być

uzasadnione w kontekście prewencji urazów u sportowców. Co więcej, aby skutecznie wspierać rozwój interwencji zmniejszających ryzyko urazu, ważna jest znajomość związków pomiędzy ocenianymi zdolnościami motorycznymi [20,24]. Należy wspomnieć, że jeden czynnik ryzyka nie daje całkowitej pewności wystąpienia urazu. Jednakże, interakcje z innymi determinantami pozwalają na kształtowanie profilu osoby z prawdopodobieństwem wystąpienia urazu [20,21].

1.3 Wzorzec ruchowy – dynamiczne koślawienie kolana

Jednym ze wspomnianych wyżej modyfikowalnych czynników ryzyka wystąpienia urazu w przyszłości jest zmniejszona kontrola nerwowo-mięśniowa, do której zalicza się dynamiczna koślawość kolana (Dynamic Knee Valgus – DKV). DKV jest wzorcem ruchowym kończyny dolnej, potencjalnie składającym się z kombinacji przywiedzenia i rotacji wewnętrznej uda, odwiedzenia kolana, translacji przedniej piszczeli, rotacji zewnętrznej goleni i ewersji stopy wg. Hewett i wsp. [25]. Obecność wzorca DKV wśród sportowców predysponuje do ostrych urazów więzadła krzyżowego przedniego (Anterior Cruciate Ligament – ACL) i występowania bólu rzepkowo-udowego (Patello Femoral Pain – PFP) [26,27]. Co więcej, istnieją dowody naukowe potwierdzające tezę, iż pacjenci ze zdiagnozowanym PFP [28–30] i po urazie ACL [31] charakteryzują się wzorcem nadmiernego DKV. Badania analizujące materiały video, na których sportowcy doświadczali urazów ACL podkreślały znaczenie dynamicznej koślawości kolana jako mechanizmu inicjującego [32,33]. Ponadto, badania na ludzkich zwłokach potwierdziły mechanizm uszkodzenia ACL podczas koślawienia kolana [34]. Dodatkowo, dynamiczna koślawość kolana odpowiada za zbaczanie rzepki z prawidłowego toru ruchu (patella maltracking). W przypadku przeciążenia wynikającego np. ze wzmożonej aktywności ruchowej, zwiększa się również nacisk na staw rzepkowo-udowy i naprężenie troczków rzepki powodując PFP [28]. Przykład prawidłowego wzorca ruchu i dynamicznej koślawości kolana przedstawiono na Rycinie 1.

Rycina 1. Przykład dynamicznej koślawości kolana - ruch kolana do wewnątrz od pozycji stopy (A) oraz prawidłowy wzorzec ruchu - kolano pod stopą (B) podczas przysiadu jednonóż. Ocena ilościowa koślawości - kąt pomiędzy kolcem biodrowym przednim górnym, rzepką i środkiem między kostką boczną a przyśrodkową (A)-145°, (B)-180°. Rycina zapożyczona z publikacji Wilczyński i wsp. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(21):8208 [35].

1.3.1 Możliwości oceny dynamicznej koślawości kolana

„Złotym standardem” w ocenie kinematycznej wzorca DKV jest metoda analizy trójwymiarowej (3-D), czyli system przechwytywania ruchu ciała człowieka. Systemy te pozwalają na ocenę biomechaniczną na wielu płaszczyznach podczas wielu czynności ruchowych. Oprócz wartości kątowych, są w stanie mierzyć również ruchy obrotowe stawów. Rejestrowanie kinematyki odbywa się za pomocą elektromagnetycznego systemu śledzącego z użyciem oprogramowania do monitorowania ruchu [36]. Ze względu na brak specjalistycznego sprzętu, zastępczą, akceptowalną metodą oceny może być dwuwymiarowa (2-D) analiza w ruchu w płaszczyźnie czołowej [36,37]. Ponadto badacze wykazali niezawodność, odtwarzalność i dobrą zgodność w średniej różnicy dynamicznej koślawości kolana między analizą 2-D, a 3-D [36,38,39]. Ocena kinematyki ciała człowieka może być wykonana przy użyciu oprogramowania Kinovea (Bordeaux, Francja). Program wydaje się być prostszy do obsługi w warunkach klinicznych i bez narażania na spore koszty w porównaniu do oprogramowania metod 3-D. Ponadto, nie wymaga doświadczenia w analizie wideo i umożliwia uzyskanie, w stosunkowo prosty sposób, dokładnych i wiarygodnych wartości kinematycznych wzorców ruchu [40,41].

Związek między przysiadem i lądowaniem jednonóż a obunóż

Najczęściej stosowanym testem do oceny DKV jest test zeskoku wertykalnego (drop vertical jump - DVJ), który polega na skoku we wskazane miejsce i lądowaniu obunóż (double leg landing - DLL) [42,43]. Zadania testowe lądowania i przysiadu obunóż zyskały zainteresowanie w ostatnich latach ze względu na badania nad przyczynami urazów ACL [25,44]. Lądowanie jednonóż (Single leg landing - SLL) i przysiadu jednonóż (Single leg squat - SLS)

zostały wykorzystane do oceny biomechaniki kończyny dolnej związanej z obciążeniem ACL oraz ryzyka wystąpienia urazów PFP [45,46]. Zarówno przysiad, jak i lądowanie składają się z fazy zstępującej i wstępującej i wykorzystują ten sam wzorzec ruchu (tj. zgięcie i wyprost tułowia, bioder, stawów kolanowych i skokowych w płaszczyźnie strzałkowej). Natomiast przysiad, w porównaniu do lądowania, charakteryzuje się mniejszym obciążeniem zewnętrznym i wolniejszym ruchem, dlatego wydaje się być łatwiejszym zadaniem motorycznym do wykonania. Warto zwrócić na to uwagę, ponieważ różnice pomiędzy tymi wzorcami ruchowymi mogą powodować znaczne różnice w wynikach dla kątów koślawości kolan [31,47].

Ze względu na wnioski z badań [43,48,49] nad koślawością kolan w zadaniach ruchowych związanych z lądowaniem i przysiadem, testy jedno nogi powinny być oddzielone od testów obu nóg w celu lepszego zrozumienia przyczyn DKV. Po pierwsze, koślawość kolan w pozycji stojącej jedno nogi z utratą równowagi jest głównym obserwowanym wzorcem podczas urazów kończyn dolnych [33]. Po drugie, zdecydowana większość przypadków urazów ACL występuje podczas zadań z lądowaniem na jednej nodze [50–52]. Poza tym zadania jedno nogi są bardziej wymagającymi ruchami niż obu nóg, co ułatwia identyfikację osób z większym ryzykiem urazu [46,53].

1.3.2 Modyfikowalne czynniki występowania wzorca dynamicznej koślawości kolana

Znajomość czynników modyfikowalnych, które predysponują sportowców do wzorca dynamicznej koślawości kolan może pomóc w stworzeniu skutecznych programów zapobiegania urazom kończyn dolnych. Przegląd literatury dotyczący modyfikowalnych czynników odpowiedzialnych za wzorzec dynamicznej koślawości kolana w zadaniach jedno nogowych został przedstawiony w publikacji włączonej do cyklu publikacji składającej się na rozprawę doktorską *Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. A Literature*

Review. **Wilczyński B.**, Ślęzak., Zorena K., *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(21):8208. Poniżej zaprezentowane zostały wyszczególnione czynniki opisane w publikacji oraz dodatkowe zagadnienia, dotyczące celów i metodyki pracy doktorskiej.

Hipoteza anatomiczna – wzmacnianie mięśnia pośladkowego średniego, podkolanowego i piszczelowego tylnego w zmniejszaniu dynamicznej koślawości kolana

Przyczyną nadmiernej koślawości kolana może być kombinacja braku równowagi mięśniowej między odwodzicielami, przywodzicielami, rotatorami zewnętrznymi i wewnętrznymi stawu biodrowego oraz pronatorami i supinatorami stawów skokowych [54–57]. Zawodnicy cechujący się dynamiczną koślawością kolana mogą prezentować nierównowagę mięśniową predysponującą do przywodzenia bioder, rotacji zewnętrznej piszczeli i pronacji stóp w zadaniach ruchowych jedno- i dwunóż. Mięśnie odpowiedzialne za ruch w kierunku przeciwnym do tych predysponujących do koślawości powinny być wzmacniane w celu kompensacji osiowego ustawienia kolana [58].

Wiele uwagi poświęcono w badaniach naukowych poprawie siły i aktywacji mięśni wpływających na staw biodrowy oraz ich roli w kontroli stawu kolanowego. Zmniejszona siła odwodzicieli stawu biodrowego negatywnie wpływa na stabilność kończyny dolnej po obciążeniu go zadaniami na jednej nodze, powodując trudność utrzymania neutralnej pozycji miednicy i stawu kolanowego. Dlatego też w programach profilaktyki urazów należy uwzględnić ćwiczenia zwiększające aktywność odwodzicieli biodra [57]. Mięsień pośladkowy średni jest najsilniejszym odwodzicielem biodra i tym samym jest najczęściej opisywany w kontekście dynamicznej koślawości kolana [59]. Odwodzenie w stawie biodrowym w leżeniu na boku jest klasyfikowane jako ćwiczenie „wysokiego poziomu aktywacji” mięśnia pośladkowego średniego [60].

Bell i wsp. 2013 zalecają interwencje wzmacniania mięśnia piszczelowego tylnego w celu poprawy dynamicznej koślawości kolan [54]. Mięsień ten pełni funkcje przywodziciela stopy, inwertora oraz zginacza podszwowego. Selektywną i efektywną aktywację uzyskuje się poprzez przywodzenie stopy z oporem zewnętrznym [61].

Mięsień podkolanowy jako rotator wewnętrzny goleni w trakcie zginania kolana działa jako dynamiczny stabilizator kontrolujący subtelne ruchy kolana w płaszczyźnie czołowej, wspierając równowagę w zadaniach wykonywanych jedno nogą. Ze względu na funkcję i anatomię mięśnia podkolanowego Nyland i wsp. w 2008 zaproponowali ćwiczenia w celu poprawy aktywacji, a tym samym wpływu na zapobieganie urazom kończyn dolnych, poprzez zmniejszenie koślawości kolan i zwiększenie stabilizacji kolana [62,63]. Istnieje prawdopodobieństwo, iż poprawiając kontrolę i stabilizację stawu kolanowego, można wpłynąć na poprawę dynamicznej równowagi [58].

Potencjalny wpływ zakresu ruchomości stawów na koślawość kolana

Jedną z wielu zmiennych mogących wpływać na dynamiczną koślawość kolana może być ograniczony lub nadmierny zakres ruchu stawów. Istnieje długa lista testów zakresu ruchu stawów wykonywanych w ośrodkach rehabilitacji i klubach sportowych. Popularne testy zakresu ruchu (range of motion - ROM), bazujące na opublikowanych doniesieniach dotyczących wiarygodności/niezawodności między osobami egzaminującymi pomiary oraz testami-retestami obejmują bierną rotację wewnętrzną biodra (Hip Internal Rotation - IR) i rotację zewnętrzną (Hip External Rotation - ER), test wykroku z ciężarem ciała (Weight Bearing Lunge Test - WBLT), bierne uniesienie

wyprostowanej kończyny dolnej (PSLR) oraz test siadania i sięgania (Sit and Reach test) [64]. Metodyka tych testów została opisana dokładnie w następujących rozdziałach pracy doktorskiej.

Zadania ruchowe polegające na wykonaniu przysiadu lub lądowania wymagają ruchu zgięcia w płaszczyźnie strzałkowej w stawach biodrowych i kolanowych oraz zgięcia grzbietowego w stawie skokowym. Jeżeli występuje deficyt zakresu ruchu w jednym segmencie układu kończyn dolnych, to zazwyczaj występuje kompensacja w płaszczyźnie poprzecznej i czołowej. Taka sytuacja może mieć miejsce w przypadku ograniczenia zakresu zgięcia grzbietowego stawu skokowego. Ograniczenie może wymuszać skompensowany ruch nadmiernej pronacji stawu skokowego, rotacji wewnętrznej kości piszczelowej, przywiedzenia i rotacji wewnętrznej uda oraz opadania miednicy, co w konsekwencji prowadzi do dynamicznej koślawości kolana [56,65,66].

Bierny zakres ruchu rotacji wewnętrznej biodra (hip IR ROM) został opisany przez Biencour i wsp. jako predyktor kątów dynamicznej koślawości kolana (badanym w płaszczyźnie czołowej - Frontal Plane Projection Angle - FPPA) [67]. W jednym z badań wykazano, że wyższe wartości kątowe koślawości kolana w płaszczyźnie czołowej podczas SLS były przewidywane przez moment izometryczny przywodzicieli oraz bierny IR ROM stawu biodrowego wśród sportowców [67]. Badacze wskazali, że osoby z odpowiednią sztywnością bioder mogą mieć lepsze ustawienie stawów kolanowych względem kończyny dolnej w FPPA, pomimo zmniejszonego momentu przywodziciela biodra [67].

Kolejnymi cechami biomechanicznymi, które należy rozważyć w kontekście koślawości kolan to elastyczność kręgosłupa i zakres zgięcia stawu biodrowego. Popularnymi testami oceniającymi te cechy są bierne uniesienie wyprostowanej kończyny dolnej (PSLR) oraz test siadania i sięgania (Sit and Reach test). Dodatkowo, test siadania i sięgania ocenia rozciągliwość mięśni prostowników kręgosłupa [64]. Obie cechy mogą być związane

z dynamiczną koślawością kolan. Jest prawdopodobne, że większa sztywność tylnej powierzchownej taśmy mięśniowo-powięziowej może predysponować do większej stabilności tułowia i kończyn dolnych oraz kontroli stawów kolanowych w zadaniach jednonóż.

Wpływ mocy kończyn dolnych na dynamiczną koślawość kolana

Testy mierzące wydajność skoków są stosowane do oceny mocy mięśniowej przez m.in. przez badanie odległości i wysokości skoku. Potencjalny związek między mocą kończyn dolnych, a dynamiczną koślawością kolana może być tłumaczony podobnymi strukturami neurofizjologicznymi odpowiedzialnymi za utrzymanie postawy i wytwarzanie momentów sił kończyn dolnych [24]. Charakteryzują się również, podobną strategią rozwoju zdolności siłowych kończyn dolnych (skurcze prostowników stawu skokowego, kolanowego i biodrowego w fazie zgięcia) [68]. Ponieważ testy SLS i SLL wymagają utrzymania stabilnej postawy ciała i wykorzystania siły mięśniowej kończyn dolnych, może wystąpić dodatnia korelacja z kątami dynamicznej koślawości kolan.

Wpływ dynamicznej równowagi na dynamiczną koślawość kolan

Dynamiczna równowaga jest kolejną zdolnością motoryczną, która może wpływać na koślawość kolan. Wydaje się, że ze względu na fakt, iż w testach oceny kinematyki kończyn (SLS, SLL) i równowagi (SEBT) uczestnicy muszą wykorzystać podobną zdolność do utrzymania dynamicznej równowagi jednonóż, testy te mogą być ze sobą związane. Wyniki uzyskane przez Boey i wsp. wskazują jednak na brak korelacji pomiędzy wartościami równowagi dynamicznej a momentami koślawości kolan wśród zawodniczek piłki siatkowej [69]. Jednakże, brak jest danych dotyczących takiej zależności wśród młodych piłkarzy oraz w ocenie koślawości w więcej niż jednym teście.

1.3.3 Ćwiczenia fizjoterapeutyczne w redukowaniu dynamicznej koślawości kolana

Ćwiczenia skoncentrowane na wzmacnianiu mięśni, treningu równowagi i plyometrii, z informacją zwrotną dotyczącą ustawienia kończyn dolnych (np. unikaniem koślawości) mogą być korzystne w zmniejszaniu kątów dynamicznej koślawości kolana oraz ryzyka urazów kończyn dolnych. Programy ćwiczeń są najkorzystniejsze dla osób o niskiej jakości ruchu i z podwyższonym ryzykiem urazu. Przegląd literatury dotyczący ćwiczeń fizjoterapeutycznych w poprawie wzorca dynamicznej koślawości kolana w zadaniach jednoonóż został przedstawiony w publikacji włączonej do rozprawy doktorskiej *Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. A Literature Review*. **Wilczyński B.**, Ślęzak., Zorena K., *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(21):8208.

1.4 Dynamiczna równowaga

Kolejnym modyfikowalnym czynnikiem ryzyka urazów należącym do grupy kontroli nerwowo-mięśniowej jest ograniczona dynamiczna równowaga. Pojęcie równowagi definiowane jest jako rzeczywisty stan układu posturalnego. Równowaga momentów i sił działających na ciało jest w stanie wymusić pionową pozycję ciała. Do osiągnięcia stanu równowagi niezbędna jest współpraca układu nerwowego i tym samym aktywacja mięśni posturalnych/antygrawitacyjnych. Termin stabilności zaś odnosi się do aktywnego przywrócenia pozycji ciała w momencie działania czynników destabilizujących, inaczej odzyskiwania równowagi. U ludzi, którzy wymagają w rekreacji czy w sporcie sprawnej równowagi i orientacji przestrzennej istnieje potrzeba obiektywnej oceny stabilności. [70].

Równowagę można podzielić na trzy formy: dynamiczną, pół dynamiczną lub statyczną. Dynamiczna równowaga opisywana jest jako zdolność do wykonywania zadań z zachowaniem stabilnej postawy ciała. W większości przypadków wykorzystując jeden punkt podparcia np. stojąc jedno nogą [71]. Badacze często stosują testy zadań ruchowych zbliżone do aktywności sportowych lub czynności funkcjonalnych. Za przykład można przytoczyć metody pomiaru dynamicznej równowagi takie jak: Star Excursion Balance Test czy Y-Balance Test [72,73].

Test równowagi gwiazdy (Star Excursion Balance Test - SEBT) i test równowagi Y (Y-Balance Test - YBT) są wiarygodnymi i szeroko stosowanymi metodami pomiarowymi, które są wykorzystywane do oceny równowagi dynamicznej. W wielu badaniach wykazano, że równowaga dynamiczna ma związek z ryzykiem urazu kończyn dolnych w różnych populacjach [72,74,75]. Test SEBT jest zwalidowanym narzędziem wykorzystywanym do przewidywania urazów kończyn dolnych oraz wdrażania programów treningowych zarówno u pacjentów, jak i zdrowych zawodników [76]. Przykładowo, słabe wyniki w SEBT były predyktorem zwichnięcia stawu skokowego wśród rekreacyjnych graczy piłki nożnej [77]. Ponadto, wcześniejsze urazy stawu skokowego lub kolana mogą predysponować do obniżenia sprawności sportowej, w tym do obniżenia dynamicznej równowagi [78,79]. Istnieją dowody na to, że wynik testu równowagi Star Excursion Balance Test (który jest również prekursorem YBT) poniżej 94% wiąże się z podwyższonym ryzykiem kontuzji [80]. Badania również wykazały związek pomiędzy wynikiem testu Y-Balance, a potencjalnymi urazami kończyn dolnych w różnych populacjach [71,75,81]. Co ważne, badanie Johnstona i wsp. z 2019 roku wykazało, że gorsza równowaga dynamiczna mierzona za pomocą YBT wśród zawodników rugby zwiększa względne ryzyko wstrząśnienia mózgu związanego ze sportem [82]. Badania wspierają tezę, że na kontrolę równowagi dynamicznej mogą wpływać niektóre cechy sprawności nerwowo-mięśniowej, takie jak siła kończyn dolnych [83], stabilność tułowia [84] oraz zakres ruchu [85].

1.4.1 Modyfikowalne czynniki ograniczenia dynamicznej równowagi

Rola siły mięśni stawu biodrowego w dynamicznej równowadze

Badania Wilsona i wsp. 2018 wykazały, iż siła odwodzenia w stawie biodrowym była związana była predyktorem dynamicznej równowagi wśród siedemdziesięciu trzech zdrowych uczestników [86]. Co więcej, w badaniu Hubbard i wsp. wykazano, że u pacjentów z przewlekłą niestabilnością stawu skokowego występowała dodatnia korelacja między siłą odwodzicieli i prostowników stawu biodrowego a dynamiczną równowagą (w teście SEBT) [87]. Jak zostało wspomniane we wcześniejszych rozdziałach, mięśnie pośladkowy średni i pośladkowy wielki pełnią główną funkcję odwiedzenia w stawie biodrowym. Mięśnie te są ważnymi stabilizatorami miednicy (m.in. przeciwdziałają opadaniu miednicy po stronie wolnej kończyny w zadaniach jednonóż). Dlatego, też ich rola może być znaczna w utrzymaniu prawidłowej dynamicznej równowagi. Tym samym, powinna być brana pod uwagę w programach ćwiczeń poprawiających zdolności równoważne, szczególnie u sportowców [85,86].

Rola zakresu zgięcia grzbietowego stawu skokowego

Istnieją dowody naukowe potwierdzające tezę, iż ograniczony zakres ruchomości zgięcia grzbietowego w stawie skokowym jest związany ze słabszymi wynikami dynamicznej równowagi [85,88,89]. Przytoczone badania wskazują, iż zgięcie grzbietowe stawu skokowego może odpowiadać za ok. 20% wariacji dynamicznej równowagi mierzonej w teście Y-Balance Test wśród aktywnych dorosłych uczestników badania. Wy tłumaczeniem tego zjawiska, może być teoria mechaniczna (niewydolność więzadłowa) i/lub funkcjonalna (niestabilność wywołana zmniejszoną kontrolą nerwowo-mięśniową) [85]. Z powyższych powodów, badacze sugerują, aby w interwencjach treningowych specjaliści ruchu badali i ewentualnie

zwiększali zakres ruchu zgięcia grzbietowego stawu skokowego w celu poprawy dynamicznej równowagi.

Rola wydajności skoków (mocy kończyn dolnych)

Związek między mocą i równowagą kończyn dolnych może wynikać z podobnych struktur neurofizjologicznych odpowiedzialnych za kontrolę postawy i siły kończyn dolnych. Ten sam szlak informacyjny (z dróg aferentnych Ia) działający na neuron ruchowy jest odpowiedzialny za generowanie siły mięśniowej i utrzymanie równowagi. Zarówno dobrowolna aktywność mięśni, jak i kontrola odruchu o długiej latencji podczas zadań związanych z utrzymaniem równowagi są napędzane przez pobudliwość korową [24,90]. Dodatkowo, mechanoreceptory zlokalizowane w mięśniach (wrzeciona mięśniowe) i ścięgnach (narząd ścięgnisty Golgiego), które pełnią funkcje odruchowe, wspomagają pozycjonowanie (m.in. osiowe) kończyn dolnych podczas zadań ruchowych [91].

1.4.2 Ćwiczenia fizjoterapeutyczne w poprawie dynamicznej równowagi

Przegląd systematyczny i meta-analiza wykonana przez zespół Gebel et al. dostarczyła dowodów naukowych potwierdzających tezę, iż trening równowagi jest skuteczny w poprawie wskaźników dynamicznej równowagi wśród zdrowej młodzieży. Do mechanizmów stojących za tym zjawiskiem, należy adaptacja na poziomie nadrženiowym i rdzeniowym, dzięki skuteczniejszej koordynacji między i wewnątrzmięśniowej [92]. Odnosząc się do publikacji badających wpływ interwencji na dynamiczną równowagę, większość badaczy skupiała się na treningu nerwowo-mięśniowym, takim jak ćwiczenia stabilizujące tułów oraz złożone ćwiczenia siłowe, takie jak przysiad. Filipa i wsp., 2010 wykazali znaczącą poprawę w dynamicznej równowadze u młodych piłkarzy po 8-tygodniowym programie, który zawierał ćwiczenia siłowe kończyn dolnych oraz wzmacniających stabilność tułowia [93]. Imai i wsp. 2014 wykazali, że 12-tygodniowy program ćwiczeń stabilizujących

tułów ma pozytywny wpływ na równowagę u piłkarzy [94]. W obu grupach badanych wykorzystano Star Excursion Balance Test (SEBT) do pomiaru równowagi dynamicznej.

Należy podkreślić znaczenie treningu równowagi specyficznego dla danej dyscypliny sportowej, który może potencjalnie poprawić również wyniki sportowe [95,96]. W badaniu prowadzonym przez Mahmoud et al. [97] wykazano, że specyficznym treningu równowagi skierowany do młodych koszykarzy poprawił również zdolności koszykarskie (rzucanie wolnych, podania i drybling) [97].

1.5 Wydajność zadań skoku i lądowania oraz moc kończyn dolnych

Moc ($Moc = Siła \times Prędkość$) kończyn dolnych jest zdolnością do szybkiego wywierania sił. Aby wytworzyć większą siłę mięśniową i rozwinąć prędkość skurczu niezbędna jest wysoka moc wyjściowa mięśni (high muscle power output). Im większy opór zewnętrzny, tym generowana jest mniejsza moc mięśniowa, z uwagi na niską prędkość ruchu. Moc kończyn dolnych może być mierzona również przy zmieniającym się oporze zewnętrznym, jak w przypadku skoku z pozycji siadu z ciężarem własnego ciała, który to określa prędkość ruchu [98]. Moc mięśniowa jest ważnym czynnikiem dla zdrowia i sprawności fizycznej, które powinny być wystarczająco rozwinięte w ciągu całego życia, aby można było nie tylko z powodzeniem uprawiać sport bez narażania się na urazy, ale również funkcjonować w życiu codziennym [99].

Ponadto, deficyt siły i mocy mięśniowej jest uważany za czynnik ryzyka wystąpienia urazów wśród młodzieży [22]. Powszechnie stosowaną metodą oceny siły eksplozywnej kończyn dolnych jest Counter Movement Jump (CMJ), która ocenia maksymalny skok wertykalny obunóż [100]. Do oceny skoku horyzontalnego i siły eksplozywnej jedenonóż, stosuje się test SLHD (single leg hop for distance) [101]. Zgodnie z badaniami Goosensa i wsp. z 2015 roku niższe

wyniki w teście SLHD mogą być czynnikiem ryzyka dla urazów grupy kulzowogoleniowej [102]. W kilku publikacjach badano związek między równowagą, a wydajnością skoku, jednak wyniki są niespójne [103,104]. Erkmen i wsp., 2010 przedstawiają istotną korelację pomiędzy równowagą, a skokiem obunóż, u młodych dorosłych zawodników piłki nożnej. Badacze stwierdzili, że czynności, które wymagają siły kończyn dolnych mogą odzwierciedlać zdolność do stabilizacji postawy ciała [103]. Z kolei Granacher i Gollhofer w 2011 nie znaleźli związku pomiędzy skokiem wertykalnym, a statyczną oraz reaktywną równowagą wśród dorastających uczniów [104].

Innym, prawdopodobnie wewnętrznym czynnikiem ryzyka urazu są nieprawidłowe wzorce ruchu podczas zadań związanych ze skokiem i lądowaniem. Powszechnie stosowanym testem wśród trenerów i badaczy do oceny wzorca skoku i lądowania jest Landing Error Score System (LESS) [105,106]. Uczestnicy z wyższym wynikiem w tym teście wykazują więcej błędów techniki lądowania po skoku w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej [105]. Młodzi piłkarze ze złymi wzorcami lądowania są bardziej narażeni na kontuzje [105,106]. Według Padua i wsp. z 2015 roku, wynik testu LESS wynoszący 5 lub więcej może zwiększyć ryzyko wystąpienia urazu ACL u młodzieżowych zawodników piłki nożnej [106]. Dodatkowo, Šiupšinskas i wsp., 2019 wysunęli wniosek, iż "słaby" wynik może wskazywać na wyższe ryzyko urazu wśród zawodowych żeńskich koszykarek [107].

1.6 Znaczenie dojrzewania biologicznego w sporcie dzieci i młodzieży

Młodzi sportowcy w tym samym wieku kalendarzowym mogą znacząco różnić się wiekiem (dojrzewaniem) biologicznym, co może wpływać na rozwój ich zdolności motorycznych [108,109]. Badania w piłce nożnej zdecydowanie przodują w upowszechnianiu znaczenia dojrzewania biologicznego wśród dzieci i młodzieży [109].

Dojrzewanie biologiczne odnosi się do progresji w dorosłość, która jest indywidualna, może zależeć od systemu biologicznego i jest skategoryzowana

pod względem statusu, tempa i czasu [110,111]. Określony etap dojrzewania w czasie obserwacji jest opisywany jako status dojrzałości [111]. Piłkarze w tym samym wieku kalendarzowym z różnym statusem dojrzałości mogą różnić się nawet o 5-6 lat w wieku biologicznym [108]. Obserwowana różnica dojrzałości biologicznej wśród zawodników młodzieżowej piłki nożnej może wpływać na decyzje trenerskie odnośnie tworzenia zespołu oraz indywidualnej oceny sprawności motorycznej (m.in. siłą, szybkością, równowagą) [108,109]. Takie zjawisko nazywane jest efektem wieku względnego (Relative Age Effect - RAE). Prawdopodobnie wynika to z różnicy w doświadczeniu i rozwoju fizycznym, które są związane z wiekiem. Od około 11 roku życia, kiedy następuje początek dojrzewania, wzrasta również sprawność sportowa, m.in. siła i moc mięśniowa [109]. Do obliczenia statusu biologicznego powszechnie stosuje się wzór Mirwalda [112]. Obliczenia dokonuje się na podstawie danych wysokości ciała stojąc, wysokości w pozycji siedzącej, masy ciała, daty urodzenia (wieku kalendarzowego) i daty badania. Wzór również pozwala na ustalenie indywidualnego przesunięcia dojrzałości - maturity offset (punkt przed i po prędkości szczytowej wysokości ciała – peak height velocity) [112]. Wzór ten był już stosowany w badaniach naukowych u młodych narciarzy alpejskich [18,113] i hokeistów na lodzie [114].

Istotnym elementem w profilaktyce urazów młodych sportowców może być uwzględnienie związku pomiędzy zdolnościami motorycznymi a dojrzałością biologiczną. Dojrzewanie biologiczne jest uważane za czynnik wpływający na zwiększoną koślawość kolan ze względu na zmiany w układzie kontroli nerwowo-mięśniowej w okresie wzrostu [18]. W badaniu Ellenbergera i wsp. 2020, dynamiczna koślawość kolana była związana z indywidualnym dojrzewaniem biologicznym (przesunięcie dojrzałości i prędkość szczytowa wysokości ciała), co wyjaśniało 10,9% wariacji u młodych narciarzy alpejskich. Inne zmienne antropometryczne, takie jak wiek, masa ciała czy wskaźnik masy ciała, nie były związane z dynamiczną koślawością kolan [18].

Należy w tym miejscu wspomnieć o znaczącej roli okresu wzrostu i dojrzewania na osłabienie dynamicznej równowagi u młodych sportowców.

Badacze zauważyli, iż wolniejszy wzrost kostny w stosunku do długości przekroju mięśni objawia się zmianą w kontroli nerwowo-mięśniowej, tym samym redukując stabilizację dynamiczną. Ponadto, w trakcie maksymalnego wzrostu młodych sportowców, kości długie kończyn dolnych uzyskują wcześniej szczytowy wzrost w stosunku do krótkich kości tułowia [11]. Przez identyfikację, systematyczną ocenę i edukację na temat roli wzrostu i dojrzewania oraz zdolności motorycznych, praktycy mogą trenować efektywniej młodych sportowców [109].

2. Cele pracy

Cele główne:

Ocena związku wybranych zdolności motorycznych oraz dojrzewania biologicznego z dynamiczną koślawością kolan i dynamiczną równowagą u młodych sportowców.

Zbadanie skuteczności programu treningowego wzmacniającego kończynę dolną w celu zmniejszenia kątów dynamicznej koślawości kolana i poprawie dynamicznej równowagi u młodych sportowców.

Cele szczegółowe:

1. Ocena związku między dynamiczną równowagą, błędami we wzorcu ruchowym skoku-lądowania a mocą kończyn dolnych wśród młodych rugbystów.
2. Analiza związków między zakresem ruchomości w stawach, dynamiczną równowagą, oceną mobilności i stabilności w stawach w funkcjonalnych wzorach ruchowych, mocą kończyn dolnych, a wartościami kątowymi dynamicznej koślawości kolana w zadaniach ruchowych jednonóż u młodych piłkarzy.
3. Zbadanie predykcji dojrzewania biologicznego oraz związku z dynamiczną równowagą i mocą kończyn dolnych u młodych piłkarzy nożnych.
4. Ocena skuteczności ćwiczeń izolowanych wzmacniających mięśnie kończyny dolnej na zmniejszenie kątów dynamicznej koślawości kolana i zwiększenie dynamicznej równowagi w populacji młodych piłkarzy.

3. Publikacja oryginalna 1

“The Relationship between Dynamic Balance and Jumping Tests among Adolescent Amateur Rugby Players. A Preliminary Study.” Wilczyński B, Hinca J, Ślęzak D, Zorena K. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(1):312.

Rugby to wymagający sport drużynowy, w którym zawodnicy niewątpliwie muszą posiadać odpowiednie atrybuty fizyczne. Podczas meczów i treningów zawodnicy wykonują wiele czynności ruchowych, takich jak przyspieszenie, skoki i lądowania, zmiany kierunku biegu, utrzymanie równowagi w różnych płaszczyznach ciała [115]. Zawodnicy rugby powinni posiadać cechy siły, mocy, przyspieszenia i szybkości, a także odpowiednią stabilność i równowagę [71]. Istnieje powszechna zgoda, że ze względu na specyfikę tej dyscypliny sportu, jej uczestnicy są narażeni na urazy układu mięśniowo-szkieletowego [8]. Ponadto, nieprawidłowe wzorce ruchowe podczas zadań skoku-lądowania, ograniczenie równowagi i mocy kończyn dolnych są opisywane jako istotne wewnętrzne czynniki ryzyka urazów wśród sportowej młodzieży [22]. Dlatego ważne jest, aby testować te czynniki u sportowców i badać zależności między nimi, tym samym wspomóc programy redukujące ryzyko urazów. Są to wyzwania dla trenerów, naukowców, fizjoterapeutów oraz innych praktyków zajmujących się tym sportem, aby umiejętnie kierować rozwojem dorastających zawodników rugby.

Celem pracy było zbadanie związku między dynamiczną równowagą, a zdolnościami skocznościowymi u młodzieżowych rugbystów płci męskiej. Hipoteza zakładała istotny związek między zmiennymi, co może być pomocne w ocenie ryzyka wystąpienia urazów oraz w projektowaniu interwencji profilaktycznych i poprawie wyników sportowych u młodych sportowców.

Material i metody

Uczestnicy

W badaniu obserwacyjnym wzięło udział 31 zdrowych męskich młodzieżowych zawodników (wiek: 14.3 ± 1.6 lat, wzrost: 171.5 ± 9.7 cm, masa ciała: 80 ± 26 kg) z amatorskiej drużyny rugby. Uczestnicy zostali wykluczeni, jeśli mieli uraz narządu ruchu lub ograniczenie uniemożliwiające im uprawianie sportu i/lub wykonanie procedury testowej dla celów badania. Badani oraz ich rodzice/opiekunowie zostali poinformowani i wyrazili pisemną zgodę na udział ich dzieci w badaniu.

Na przeprowadzenie badania uzyskano zgodę Niezależnej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Gdańskim Uniwersytecie Medycznym (uchwała NKBBN/697/2019-2020/).

Procedury postępowania

Wszystkie testy zostały przeprowadzone na terenie Narodowego Stadionu Rugby w Gdyni. Pomiar odbywał się przez trzy dni, wolne od treningów i meczów (przed rozpoczęciem rozgrywek ligowych, w godzinach popołudniowych, od 12:00 do 17:00), w kompleksie treningowym rugby o temperaturze pokojowej. Przed rozpoczęciem każdego testu uczestnicy uzyskali niezbędne informacje oraz demonstrację prawidłowo wykonanego testu przez doświadczonego fizjoterapeutę i trenera. Podstawowe dane antropometryczne (masa ciała, wskaźnik masy ciała (BMI), wzrost)) zostały uzyskane z analizatora składu ciała (InBody 270, InBody Co., Seul, Korea). Autorski kwestionariusz pozwolił na uzyskanie danych dotyczącej kończyny dolnej dominującej, pozycji na boisku, doświadczenia treningowego.

Dynamiczna równowaga

Do pomiaru ilościowych wartości dynamicznej równowagi kończyn dolnych wykorzystano zestaw Y-Balance Test (Move2Perform, Evansville, IN,

USA) [116]. Y-Balance Test jest testem wywodzącym się z SEBT [117]. Uczestnicy stojąc jedno nogą na platformie przesuwali drewniane bloczki stopą tak daleko, jak tylko mogli w kierunku przednim (ANT, anterior), tylnobocznym (PL, posterolateral) i tylnoprzyśrodkowym (PM, posteromedial) (Rycina 2). Test został przeprowadzony z zachowaniem procedur standaryzacji, zgodnie z protokołem wg. Plisky i wsp., 2008 (instrukcje wideo i słowne przed rozpoczęciem, uczestnicy bez obuwia, 6 prób w każdym kierunku w celu zminimalizowania efektu uczenia się). Testy były powtarzane, jeśli uczestnik stracił równowagę, oparł się stopą o podłoże, kopnął platformę lub podniósł piętę podczas przesuwania klocka [116]. Test składał się z 3 poprawnych prób dla lewej i prawej kończyny dolnej. Doświadczony egzaminator oceniał próbę pod kątem błędów i zapisywał wynik w centymetrach, dla każdego kierunku. Następnie, mierzono uczestnikom długość kończyn dolnych w pozycji leżącej (od kolca biodrowego przedniego górnego do kostki przyśrodkowej stawu skokowego).

Do analizy wykorzystano maksymalną odległość każdego kierunku dla kończyny dolnej dominującej i niedominującej, którą znormalizowano do długości kończyn dolnych (podzielono przez długość kończyn dolnych, a następnie pomnożono przez 100 (LL - Lower Limb %)). Kierunek Złożony (Composite - COM) dla każdej kończyny dolnej obliczono jako sumę 3 kierunków podzieloną przez 3-krotność długości kończyn dolnych i pomnożoną przez 100 [116] (Wzór 1).

Wzór 1. Wzór obliczenia kierunku Złożonego, gdzie COM oznacza COMPOSITE, ANT – Anterior, PL – Posterolateral, PM – Posteromedial, LL – Lower Limb Length).

Kierunek Złożony obu kończyn dolnych (Composite-both legs - COMb) zdefiniowano jako średnią wyników COM dla kończyny dominującej i niedominującej. YBT wykazała dobrą rzetelność między- i wewnątrzsobową w badaniach Plisky i wsp. 2007 [116].

Moc kończyn dolnych

Skok wertykalny obunóż - Test countermovement jump (CMJ)

Test countermovement jump (CMJ) został wykorzystany do oceny mocy kończyn dolnych poprzez ocenę wysokości skoku pionowego (Rycina 3). Uczestnicy zostali poinstruowani, aby przed skokiem stali obunóż na macie kontaktowej (Fusion Sport Smart Jump mat, Fusion Sport, 2 Henley ST, Coopers Plains, QLD, 4108, Australia) z rękami ułożonymi na biodrach [118]. Pozycja do skoku (głębokość przysiadu) była wybierana samodzielnie, tak jak w badaniu Gheller i wsp. 2015 [119]. Test był zaliczony, gdy uczestnicy wyprostowali kończyny w stawach kolanowych podczas lotu oraz w pierwszej fazie kontaktu stóp przy lądowaniu. Pomiędzy każdym skokiem była 2 minutowa przerwa [99]. Spośród trzech prób skoków do analizy danych wybrano najlepszą próbę. Test CMJ został oceniony jako wiarygodna metoda oceny wysokości skoku pionowego z wykorzystaniem czasu lotu [100].

Rycina 3. Uczestnik wykonujący test Counter movement jump. Materiał własny.

Skok horyzontalny jednonóż - Single-leg hop for distance (SLHD)

Single-leg hop for distance (SLHD) to test, który służy do oceny mocy kończyn dolnych za pomocą skoku jednonóż w dal. Uczestnicy zostali poproszeni o ustawienie na linii jednonóż, trzymając ręce na biodrach. Natychmiast po sygnale badającego uczestnicy skakali tak daleko jak tylko mogli lądując na tej samej kończynie dolnej. Zadanie było oceniane prawidłowo, gdy zawodnicy utrzymali równowagę bez podpierania się wolną kończyną przez 2 sekundy (Rycina 4) Uczestnicy wykonali 3 skoki z przerwą 30 sekundową pomiędzy każdym skokiem. Badający oceniał odległość skoku za pomocą taśmy mierniczej i zapisywał ją z dokładnością do 1 cm [99]. Analizie

poddano średnią z 3 prób. Test SLHD wykazał doskonałą rzetelność test-retest w jednym z ostatnich badań [101].

Rycina 4. Uczestnik wykonujący test Single Leg Hop for distance. Materiał własny.

System punktowy oceny błędów lądowania Landing Error Score System (LESS)

System punktowy oceny błędów lądowania (Landing Error Score System – LESS) jest narzędziem oceny klinicznej służącym do wyszukiwania nieprawidłowych wzorców ruchowych (błędów). Uczestnicy wykonują poziomy zeskok obunóż z pudła o wysokości 30 cm za wyznaczoną linię (odległość 50% wzrostu uczestnika). Bezpośrednio po wylądowaniu wykonywali maksymalny skok wertykalny (jak w teście CMJ)(Rycina 5). Uczestników dopuszczano do kilku (zazwyczaj 3) skoków próbnych/treningowych. Następnie uczestnicy wykonywali 3 próby właściwe z 2 minutową przerwą pomiędzy nimi. Ustawiono dwie kamery wideo (GoProHero 4, GoPro, Inc., San Mateo, CA, USA) z przodu i z boku, w odległości 3 m od uczestnika wykonującego zadanie (Rycina 6) [105,106].

Zapis z kamery pozwolił na dokładną ocenę wzorców ruchowych (błędów) oraz określenie wyniku. Narzędzie LESS zawiera 17 sekcji pozwalających ocenić cechy lądowania w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej. Wyższy wynik sugeruje gorszą technikę i więcej błędów wzorca lądowania. Tego samego dnia, doświadczony fizjoterapeuta, który nie brał udziału w badaniu, ocenił zapis skoków-lądowań z kamer, za pomocą oprogramowania Kinovea® (wersja beta 0.8.26, Bordeaux, Francja). Z trzech prób, do analizy statystycznej wybrano najlepszą próbę (najniższy wynik).

Rycina 5. Rycina zapożyczona z publikacji Smith i wsp. 2012[120].

Rycina 6. Rozmieszczenie kamer, strefy lądowania i pudła, z którego uczestnicy wykonywali skok i lądowanie w teście LESS. Materiał własny.

Analiza statystyczna

Wszystkie zmienne zbadano testem normalności rozkładu Shapiro-Wilka. Dane były zbliżone do rozkładu normalności, więc zastosowano średnie i odchylenia standardowe do przedstawienia wyników. Obliczono współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy CMJ, LESS, SLHD i testem Y-Balance. Do określenia siły wykorzystano współczynnik korelacji (r): silny ($0.50 \leq r \leq 1.0$), umiarkowany ($0.3 \leq r < 0.5$) i słaby związek ($r < 0.3$) [121]. Do analizy różnic między nogą dominującą i niedominującą w testach YBT (ANT, PL, PM, COM) SLHD wykorzystano test T niezależnych próbek. Model regresji liniowej został użyty do oszacowania wpływu wyników kończyny dominującej w YBT (kierunki COM, PL, PM) na SLHD kończyny dominującej. Dane statystyczne przetwarzano za pomocą oprogramowania Statistica (Statistica 12). Istotność ustalono a priori na poziomie $p < 0.05$.

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych badań nie stwierdzono istotnej różnicy między wynikami testów YBT i SLHD dla kończyny dolnej dominującej, a kończyny niedominującej ($p > 0.05$), wśród młodych amatorskich graczy rugby. Z tego powodu wyniki kończyny dolnej dominującej w testach jedno-nóż zostały wykorzystane do dalszych analiz statystycznych pochodzących.

Przeprowadzone badanie ujawniło, że dynamiczna równowaga (YBT Composite) była istotnie skorelowana z mocą kończyn dolnych, mierzona testami CMJ ($r = 0.48$) i SLHD ($r = 0.51$). Powyższe dodatnie korelacje świadczą o tym, że uczestnicy z lepszą dynamiczną równowagą dysponują większą mocą kończyn dolnych. W grupie rugbyistów zaobserwowano silny związek ($r = 0.72$) między pomiarami CMJ i SLHD. Nie stwierdzono natomiast istotnych korelacji pomiędzy LESS a pozostałymi zmiennymi (CMJ, SLHD, YBT) wśród młodych amatorów rugby ($p > 0.05$).

Umiarkowana dodatnia korelacja Pearsona była statystycznie istotna dla nogi dominującej pomiędzy SLHD a YBT PM ($r = 0.44$), PL ($r = 0.40$) i Composite ($r = 0.48$), ale nie dla ANT ($r = 0.32$, $p = 0.73$). Stwierdzono, że najsilniejszym predyktorem kierunku złożonego YBT był test SLHD (skorygowana wartość - adjusted $r^2 = 0.20$, $p = 0.006$). Tym samym, test SLHD był odpowiedzialnym za 20% zmienności testu YBT (Composite YBT).

Podsumowując, na podstawie przeprowadzonych badań wykazano istotną umiarkowaną do silnej dodatnią korelację między dynamiczną równowagą, a mocą kończyn dolnych u młodzieżowych rugbyistów. Ponadto, wyniki tego badania sugerują, że nieprawidłowe wzorce ruchowe zadania skoku i lądowania w teście LESS nie mają istotnego związku z dynamiczną równowagą i mocą kończyn dolnych.

Związek między mocą, a równowagą może mieć kilka praktycznych implikacji. Po pierwsze, zmienne, które są od siebie zależne, mogą pomóc w ocenie ryzyka wystąpienia urazu wśród młodych sportowców. Po drugie, może to usprawnić projektowanie interwencji zapobiegających urazom i zwiększaniu wydajności sportowej. Przykładowo, przez zmniejszenie objętości i czasu ćwiczeń przez dokładniejsze skupienie się na treningu mocy kończyn dolnych, tym samym, zwiększając wyniki dynamicznej równowagi.

4. Publikacja oryginalna 2

“Association between Selected Screening Tests and Knee Alignment in Single-Leg Tasks among Young Football Players” Wilczyński B, Radzimiński Ł, Agnieszka Sobierajska-Rek, Zorena K. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(11):6719

Aby chronić zawodników konieczne jest zweryfikowanie czynników odpowiadających ryzyku urazu, które mogą być zminimalizowane. Trening prewencyjny powinien skupiać się na konkretnych modyfikowalnych czynnikach ryzyka urazu, takich jak zmniejszona kontrola nerwowo-mięśniowa, która objawia się między innymi dynamiczną koślawością kolan (DKV) [25,122]. W celu poprawy programów zapobiegania urazom kończyn dolnych u młodych sportowców, ważne jest zbadanie, jakie zmienne biomechaniczne mogą być związane z koślawością kolan. Wśród tych zmiennych może być ograniczony zakres ruchu stawów czy zmniejszona mobilność ciała [66]. Ponadto, dojrzewanie biologiczne może być uznane za czynnik zakłócający ocenę dynamicznej koślawości kolan ze względu na zmiany w układzie kontroli nerwowo-mięśniowej w okresie wzrostu [18].

Poznanie modyfikowalnych i niemodyfikowalnych czynników predysponujących sportowca do wystąpienia DKV może pomóc w stworzeniu skutecznych programów profilaktyki urazów kończyn dolnych. Z punktu widzenia projektowania programów treningowych i rehabilitacji po urazach, ważne jest, aby wiedzieć, czy istnieje związek pomiędzy dynamicznym koślawieniem kolana, dojrzewaniem biologicznym, zakresem ruchu, dynamiczną równowagą i mocą kończyn dolnych. Istotne korelacje między tymi zmiennymi mogłyby przyczynić się do lepszego zrozumienia dynamicznej koślawości kolana.

Dlatego też celem badań była ocena związku między takimi czynnikami jak zakres ruchomości stawów, wydajność skoków, dynamiczna równowaga, dojrzałość biologiczna, a dynamiczna koślawość kolan w zadaniach jednonóż. Hipoteza zakładała, iż zmniejszony zakres zgięcia grzbietowego stawu

skokowego i zakres ruchu stawu biodrowego, jak również większa mobilność kręgosłupa i rozciągliwość mięśni grupy kulszowo-goleniowej, będą związane z większą koślawością kolan. Ponadto założono, że sportowcy z obniżoną dynamiczną równowagą i mocą kończyn dolnych będą wykazywać większe kąty dynamicznej koślawości kolan.

Material i metody

Czterdziestu trzech młodych piłkarzy męskich (wiek: 13.2 (1.7) lat, wzrost: 164.3 ± 9.3, masa ciała: 45.7 (13.6) kg) rekrutowanych z akademii piłkarskiej spełniło kryteria włączenia do badania.

Charakterystyka antropometryczna uczestników została przedstawiona w tabeli 4. Kryteriami włączenia do badania były: wiek od 12 do 15 lat (grupy wiekowe U12-U15) oraz posiadanie doświadczenia gry w akademii piłkarskiej (minimum 3 lata). Wykluczono uczestników, którzy w ciągu ostatnich 6 miesięcy doznali urazów kończyn dolnych lub ograniczeń ruchowych mogących mieć wpływ na motoryczność. Wszyscy uczestnicy i ich rodzice/opiekunowie zapoznali się z informacją dotyczącą badania i podpisali zgodę na udział (w tym nagrywanie wideo).

Badanie to było częścią projektu badawczego (numer [clinicaltrials.gov: NCT04780880](https://clinicaltrials.gov/ct2/show/study/NCT04780880)) i zostało zatwierdzone przez Niezależną Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych w Gdańsku (numer zgody: NKBBN/680/2020), co było zgodne z zasadami zawartymi w Deklaracji Helsińskiej.

Procedury

Wszystkie procedury testowe odbywały się w przygotowanym wcześniej pomieszczeniu Centrum Rehabilitacyjno-Szkoleniowym. Testy przeprowadzono w godzinach popołudniowych od 12:00 do 17:00 przez sześć dni w okresie poza sezonem. Badani uczestniczyli w czterech treningach piłkarskich (po 1.5 godz) tygodniowo w okresie poza sezonem (bez rozgrywek ligowych). W sezonie liczba i czas trwania sesji pozostały takie same, z dodatkiem meczu

w weekend. Przed każdym dniem testowym, wszyscy uczestnicy byli w pełni wypoczęci i nie uczestniczyli w sesji treningowej lub meczu w ciągu ostatnich 48 godzin. Przed rozpoczęciem każdego testu uczestnicy zostali zapoznani z procedurą badawczą. Zgodnie z metodyką testu, każdy uczestnik wykonywał "próby rozgrzewkowe" przed właściwymi próbami.

Wszystkie testy były wykonywane pod kontrolą doświadczonych fizjoterapeutów i trenerów. Wszyscy badacze otrzymali dodatkowe szkolenie zarówno teoretyczne, jak i praktyczne od głównego badacza przed rozpoczęciem badania. Informacje na temat doświadczeń związanych z grą w piłkę nożną zostały zebrane za pomocą autorskiego kwestionariusza.

Dane antropometryczne i dojrzewanie biologiczne

Podstawowe parametry (waga, wzrost, wskaźnik masy ciała) uczestników zostały zarejestrowane przez analizator składu ciała (InBody 270, InBody Co., Seul, Korea). Wiek biologiczny obliczono na podstawie wysokości ciała, wysokości w pozycji siedzącej (od podstawy kości krzyżowej do czubka głowy) (ocenianej za pomocą taśmy mierniczej, 0.5 cm), masy ciała, wieku kalendarzowego (data urodzenia) oraz daty badania według wzoru Mirwalda i wsp. [112]. We wzorze tym obliczono również predykcję przesunięcia dojrzałości osobniczej, która jest punktem w czasie przed i po osiągnięciu prędkości szczytowej wysokości ciała (Age Peak Height Velocity - APHV).

Przysiad i lądowanie jednonóż

Testy przysiadu jednonóż (Single Leg Squat – SLS) i lądowania jednonóż (Single Leg Landing – SLL) przeprowadzono zgodnie z metodyką opisaną w poprzednich badaniach [43,123,124]. Wszyscy uczestnicy obejrżeli film instruktażowy i uzyskali informacje słowne na temat metodyki. Badacze zademonstrowali prawidłowe wykonanie przysiadu i lądowania z perspektywy bocznej, tak aby nie sugerować przedniej projekcji kolana. Po zakończeniu instruktażu, uczestnicy mieli zadanie przećwiczyć test (około cztery razy), do momentu aż byli gotowi do rozpoczęcia badań [58]. Markery kinezyjologiczne (stworzone z taśm kinezyjotaping) były przymocowane

do punktów anatomicznych: (1) na kolcu biodrowym przednim górnym, (2) w środkowym punkcie rzepki oraz (3) w punkcie pomiędzy kostką boczną i przyśrodkową stawu skokowego [123,124]. Uczestnicy wykonali trzy próby dla lewej i prawej kończyny dolnej z dwuminutowym odpoczynkiem między próbami. Średnią z trzech prób z testów SLS i SLL poddano analizie.

Single Leg Squat (SLS)

Uczestnicy zostali poproszeni o wykonanie przysiadu jedno nogi do około 60 stopni zgięcia kolana. Podczas testu uczestnicy musieli stać bez obuwia na wyznaczonej linii, zgiąć nietestowany staw kolanowy (około 90 stopni), utrzymać ręce skrzyżowane na ramionach i patrzeć prosto przed siebie. Następnie badacze sygnalizowali rozpoczęcie próby, która mogła trwać maksymalnie 5 sekund [124]. Próbę uznawano za nieprawidłową, gdy uczestnicy stracili równowagę lub podparli się inną kończyną [58].

Single Leg Landing (SLL)

Uczestnicy zostali poproszeni o zeskoczenie jedną kończyną dolną z pudła o wysokości 28 cm, opadając pionowo i lądując w wyznaczonym miejscu utrzymując równowagę przez około 3 sekundy. Gdy stracili równowagę i dotknęli kontrlateralną kończyną dolną do powierzchni, próba była powtarzana [43,125]. Dodatkowo badacze zalecali, aby uczestnicy trzymali ręce na biodrach i lądowali, zginając staw kolanowy co najmniej o 30 stopni.

Analiza wideo 2-D

Kąty ustawienia stawów kolanowych analizowano za pomocą metody FPPA (frontal plane projection angle - kąt projekcji w płaszczyźnie czołowej). Dwie cyfrowe kamery wideo (GoProHero 4, GoPro, Inc., San Mateo, CA, USA) umieszczono na statywach. Jedna kamera była ustawiona z boku, a druga frontalnie w odległości 2 metrów od uczestników. Oprogramowanie Kinovea (wersja beta 0.8.26, Bordeaux, Francja), która jest darmowym i ogólnodostępnym oprogramowaniem do śledzenia ruchu, została wykorzystana do oceny FPPA [36,40]. Kinovea została opisana jako zwalidowana i wiarygodna metoda pomiaru kątów i odległości ruchów

człowieka [41]. Markery (taśmy kinezyotaping) zostały przyklejone do trzech punktów: środek rzepki, kolca biodrowego przedniego górnego oraz punktu środkowego pomiędzy boczną i przyśrodkową częścią kości skokowej (Rycina 7). Badacz podczas analizy wideo obliczał kąty koślawości kolan wszystkich uczestników.

Analiza projekcji bocznej (punkty anatomiczne: krętarz większy, kłykieć boczny kości piszczelowej, kostka boczna stawu skokowego) pozwoliła ocenić, czy badany osiągnął minimalny kąt zgięcia stawu kolanowego (minimum 60 stopni). W badaniach Herrington i wsp. 2017 wykazano dobrą do doskonałej korelację wewnątrz- i międzysesyjną (intra- and inter-session) wyników SLS i SLL z koślawością kolana (ICC = 0.72 - 0.91), przy czym błędy standardowe pomiaru (SEM) wynosiły 1.97 stopni dla wartości SLS i 1.99 stopni dla wartości SLL [125].

Rycina 7 Przykładowa ocena koślawości kolana w FPPA 2D w testach SLS i SLL. (A,B) kąt początkowy SLS (176°) i koniec badania (169°) oraz (C,D) kąt początkowy SLL (176°) i koniec badania (161°). Rycina z publikacji Wilczyński i wsp. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(11):6719. [122].

Dynamiczna równowaga

Modified Star Excursion Balance Test (mSEBT)

Do oceny równowagi dynamicznej wykorzystano zmodyfikowany test równowagi gwiazdy (modified SEBT - mSEBT). Uczestnicy mieli zadanie stanąć w środku „gwiazdy” utworzonej przez przecinające się cztery linie (Rycina 8). Następnie uczestnicy musieli sięgnąć kontralateralną kończyną dolną jak najdalej wzdłuż jednej z linii w każdym z trzech kierunków: przednim, tylnoprzyśrodkowym, tylnobocznym (odpowiednio, Anterior – ANT, Posteromedial – PM, Posterolateral – PL).

Uczestnicy wykonywali po 3 próby w każdym kierunku dla prawej i lewej kończyny dolnej. Aby próba została zaliczona, uczestnicy musieli przez cały czas trwania ruchu trzymać ręce na biodrach i zachować równowagę

jednonóż. Odległość osiągnięta przez badanego (od dystalnej części dużego palca stopy do najdalszego punktu na linii) była mierzona w centymetrach. Wynik normalizowano do długości kończyn dolnych i przedstawiano w procentach. Długość kończyn dolnych mierzono od kolca biodrowego przedniego górnego do kostki bocznej kości skokowej. Kierunek Złożony (Composite - COM) obliczono jako sumę trzech kierunków podzieloną przez trzykrotną długość kończyn dolnych (lower limb length – LL), a następnie pomnożono przez 100. W badaniu Picot i wsp. 2021 wykazano wysoką wiarygodność międzyosobniczą w ocenie odległości zasięgu mSEBT [72,117].

Rycina 8. Wykonanie testu SEBT. Materiał zapożyczony z publikacji Hardy et al. 2008 [126].

Zakres ruchomości

Każda ocena biernego zakresu ruchu była wykonywana do końca możliwego zakresu uczestnika. Było to określone przez punkt końcowy zakresu (ciasnota lub twardy opór końcowy ruchu) zgłaszany zarówno przez osobę badaną, jak i przez badacza. Badacz mierzył kąty zakresu ruchu za pomocą standardowego goniometru długoramiennego (z dokładnością do 1°) lub miary krawieckiej (z dokładnością do 1 cm), w zależności od testu [127]. Wykonano trzy próby dla każdego testu ROM, a do analizy statystycznej wykorzystano średnią wyników. Uczestnicy nie wykonywali rozgrzewki ani żadnych ćwiczeń rozciągających, aby nie wpłynąć na zakres ruchu przed badaniem.

Test wyroku z ciężarem ciała - WBLT

Test wyroku z ciężarem ciała (Weight-bearing Lunge Test - WBLT) został wykorzystany do oceny zakresu ruchu zgięcia grzbietowego stawu skokowego. Uczestnicy wykonali 3 próby, które polegały na dotknięciu ściany zgiętym

stawem kolanowym w pozycji wykroku z najdalszej pozycji stopy. Pięta badanego nie mogła podnieść się z podłogi, a stopa musiała znajdować się na wyznaczonej linii prostopadłej do ściany. Maksymalna odległość od dużego palca do ściany była mierzona w centymetrach. Do analizy przyjęto średnią z 3 prób do analizy [128]. WBLT wykazał wysoką wiarygodność/niezawodność między-kliniczną (ICC = 0.80 - 0.99) i dobrą rzetelność wewnątrz-kliniczną (ICC = 0.65 - 0.99) w badaniach Powden i wsp. 2015 [129].

Bierne uniesienie jednej nogi (passive single-leg raise - PSLR)

Elastyczność/Rozciągliwość mięśni grupy kulszowo-goleniowej oceniano za pomocą testu biernego uniesienia kończyny dolnej (passive single-leg raise - PSLR) zgodnie z metodyką według Kendalla i wsp. [130]. Podczas gdy uczestnicy znajdowali się w pozycji leżenia tyłem, badacz oceniał kąt zgięcia stawu biodrowego przy wyprostowanym stawie kolanowym względem tułowia. Maksymalny kąt był mierzony goniometrem i zapisywany w stopniach (°) [131]. W badaniu Gabbe i wsp. 2004 wykazano, że rzetelność między badaczami testu PSLR była na wysokim poziomie ICC = 0.93 [64].

Test siadania i sięgania (Sit and Reach Test)

Test siadania i sięgania został wykorzystany do oceny zakresu ruchomości kręgosłupa i zgięcia stawu biodrowego. Uczestnicy zostali poinstruowani, aby usiąść w pozycji wyprostowanej przed ścianą i wyciągnąć ręce jak najdalej do przodu, trzymając je na krześle przez 1 sekundę. Jeden z badaczy sprawdzał, czy badany nie zgina stawów kolanowych i czy pięty pozostają w pozycji wyjściowej. Odległość od czubka środkowego palca ręki do linii palców stopy była zapisywana i poddana analizie. Jeśli badany dotykał palcami ściany, oznaczało to 0 cm na skali pomiarowej, natomiast dodatnie (+ 1 cm) wartości oznaczały lepsze wyniki testu. Test wykazał wysoką rzetelność między badaczami na poziomie ICC = 0.97 w badaniu Gabbe i wsp. 2004 [64].

Bierna rotacja zewnętrzna i wewnętrzna stawu biodrowego (Hip External and Internal Rotation – hip ER and IR ROM)

Bierną rotację zewnętrzną i wewnętrzną biodra (hip ER and hip IR ROM) mierzono za pomocą ręcznego goniometru. Uczestnicy byli oceniani w pozycji leżenia tyłem ze zgiętym stawem biodrowym i kolanowym do 90 stopni. Badacz, stabilizując kończynę, wykonywał rotację wewnętrzną lub zewnętrzną do końca zakresu ruchu. Drugi badacz w tym czasie oceniał zakres rotacji w przyrostach co 1.0 stopień [127].

Wydajność skoków – moc kończyn dolnych

W celu oceny mocy kończyn dolnych zastosowano test CMJ i SLHD, które zostały opisane w Publikacji oryginalnej 1.

Analiza statystyczna

Wszystkie zmienne zostały przetestowane pod kątem rozkładu normalności za pomocą testu Shapiro-Wilka. Nie wszystkie dane miały rozkład normalny, dlatego część z nich opisano jako medianę i rozstęp międzykwartylowy (IQR). Z tego powodu do analizy korelacji wykorzystano zarówno test rang Spearmana, jak i współczynniki korelacji Pearsona. Do określenia siły wykorzystano współczynnik korelacji (r): silny ($0.50 \leq r \leq 1.0$), umiarkowany ($0.3 \leq r < 0.5$) lub słaby związek ($r < 0.3$) [121]. Dla czynników, które wykazały istotną korelację Pearsona, do oszacowania wpływu wyników zastosowano model regresji liniowej. Dla danych nieparametrycznych zastosowano test rang Wilcoxa dla niezależnych prób, aby przeanalizować różnice w koślawości kolan w FPPA pomiędzy testami SLS i SLL. Wszystkie analizy danych zostały przetworzone za pomocą oprogramowania Statistica (Statistica 12). Poziom istotności został ustalony a priori na $p < 0.05$.

Wyniki

Do analizy statystycznej wykorzystano dane lewej kończyny dolnej. Kąty dynamicznej koślawości kolana (w FPPA) były statystycznie istotnie większe ($p < 0.001$) w teście SLS (16.4 ± 8.6) niż w teście SLL (6.6, IQR 6.1).

Po przeprowadzeniu badań, stwierdzono umiarkowane ujemne korelacje między zakresami rotacji wewnętrznej ($r = -0.32$, $p = 0.036$) i zewnętrznej stawu biodrowego ($r = -0.34$, $p = 0.023$) (gdzie koślawość kolana zwiększała się wraz ze zmniejszeniem rotacji zakresu stawu biodrowego) oraz zakresem zgięcia grzbietowego stawu skokowego (WBLT) ($r = 0.35$, $p = 0.022$), a kątami dynamicznej koślawości kolana w teście SLL. Ponadto, zaistniały dodatnie umiarkowane zależności między wynikiem testu siadania i sięgania, a dynamiczną koślawością kolan w teście SLS ($r = 0.34$, $p = 0.025$) i SLL ($r = 0.33$, $p = 0.031$). Widoczna była również umiarkowana ujemna korelacja między zakresem rotacji zewnętrznej biodra ($r = -0.34$, $p = 0.029$), a kątami koślawości kolana w teście SLS (gdzie koślawość kolana zwiększała się wraz ze zmniejszeniem rotacji zewnętrznej biodra). Wyniki dynamicznej równowagi, mocy kończyn dolnych, ani zmiennych antropometrycznych (wiek, przesunięcie dojrzałości, prędkość szczytowa wieku) nie były związane z dynamiczną koślawością kolan zarówno w teście SLS, jak i SLL.

Podczas rozpatrywania istotnych statystycznie wyników korelacji dla danych parametrycznych przeprowadzono analizę regresji liniowej. Analiza wykazała, że zakres rotacji zewnętrznej stawu biodrowego oraz test siadania i sięgania były jedynymi predyktorami, wyjaśniającymi odpowiednio 12% i 11% zmienności koślawości kolana w teście SLS.

Podsumowując wyniki, dynamiczna koślawość kolan w teście SLL była ujemnie skorelowana z rotacją zewnętrzną i wewnętrzną stawów biodrowych oraz zgięciem grzbietowym stawu skokowego, a była dodatnio skorelowana z testem siadania i sięgania. Ponadto dynamiczna koślawość kolan w teście SLS była ujemnie skorelowana z rotacją zewnętrzną biodra i dodatnio skorelowana z testem siadania i sięgania. Kąty koślawienia kolan w teście SLS były przewidywane przez zakres rotacji zewnętrznej biodra oraz test siadania i sięgania. Osoby z większym zakresem rotacji stawów biodrowych, większym zgięciem kręgosłupa i mniejszym zakresem zgięcia grzbietowego stawu skokowego mogą być bardziej narażone na większą dynamiczną koślawość kolan w zadaniach ruchowych jednonoż. Wyniki wykazały również,

że dynamiczna koślawość była istotnie większa w teście SLS niż w teście SLL, dlatego testy SLS i SLL nie powinny być stosowane zamiennie.

5. Publikacja oryginalna 3

“Biological Maturation Predicts Dynamic Balance and Lower Limb Power in Young Football Players”, Wilczyński, B.; Radzimiński, Ł.; Sobierajska-Rek, A.; de Tillier, K.; Bracha, J.; Zorena, K. *Biology* **2022**, *11*, 1167

Wielu młodych sportowców rezygnuje z uprawiania sportu w wieku ok. 15 lat (w przedziale 14-17 lat) [17,132]. Za jedną z głównych przyczyn tej tendencji uważa się wystąpienie kontuzji [133]. Ponadto, wskaźnik urazów wzrasta liniowo (w zakresie od 9 do 15 roku życia) ze szczytem w wieku 13 lat wśród młodych męskich piłkarzy [2,134]. Problematyka urazów u młodych piłkarzy jest szeroko dyskutowana i badana wśród naukowców i praktyków. Istnieją dowody, że moc kończyn dolnych oraz ograniczenia równowagi dynamicznej należą do wewnętrznych czynników ryzyka urazów wśród dzieci i młodzieży [22,24]. Co więcej, udowodniono związek między siłą kończyn dolnych, a dynamiczną równowagą u młodych sportowców [99]. Inne badania wykazały, że istniały istotne korelacje pomiędzy siłą kończyn dolnych, a równowagą wśród dzieci [24]. Również istotnym elementem profilaktyki urazów w młodym sporcie może być związek zdolności motorycznych z czynnikiem dojrzewania biologicznego. Poprzez identyfikację, systematyczną ocenę, edukację na temat dojrzewania oraz zarządzanie zdolnościami motorycznymi, praktycy mogą skuteczniej i bezpieczniej trenować młodych sportowców [109].

Ostatnie badania w opisanej wyżej publikacji oryginalnej włączanej w skład rozprawy doktorskiej (Publikacja 2) wykazały istotny związek między wydajnością skokową (mocą kończyn dolnych), a dynamiczną równowagą

wśród młodzieżowych zawodników rugby [99]. Co więcej, z punktu widzenia prewencji urazów, badania i poprawy wyników sportowych ważne jest, aby wiedzieć, czy istnieje związek między dynamiczną równowagą i mocą kończyn dolnych, a dojrzewaniem biologicznym u młodych sportowców. Istotne korelacje między tymi zmiennymi mogą przyczynić się do naukowego uzasadnienia szerokiej oceny ryzyka urazu i projektowania programów treningowych, w tym także rehabilitacji.

W dotychczasowych badaniach nie zbadano związku między opisanymi zmiennymi w populacji młodych, zdrowych piłkarzy. Dlatego celem badań była ocena związków między dynamiczną równowagą i mocą kończyn dolnych, a dojrzałością biologiczną w populacji młodych piłkarzy nożnych.

Założono, że dojrzałość biologiczna będzie istotnie związana z dynamiczną równowagą i mocą kończyn dolnych. Ponadto, dojrzałość biologiczna może być uznana za skuteczny predyktor zdolności motorycznych u młodych piłkarzy nożnych płci męskiej.

Material i Metody

Badanie obserwacyjne zostało przeprowadzone w czasie przerwy zimowej (w okresie poza sezonem) na młodzieżowych męskich elitarnych piłkarzach w centrum rehabilitacji i treningu w specjalnie przygotowanym pomieszczeniu. Badanie obejmowało: (i) autorski kwestionariusz ankiety osobowej i wywiad (kryteria włączenia i wyłączenia), (ii) analizę antropometryczną i składu ciała, oraz (iii) testy dynamicznej równowagi i mocy kończyn dolnych.

Do badań zaproszono zdrowych młodych męskich piłkarzy trenujących w profesjonalnym klubie piłkarskim. Kryteria włączenia do badania zakładały, że uczestnicy byli w pełni zdrowi, bez dolegliwości bólowych i nie mieli żadnych interwencji chirurgicznych na kończynach dolnych w ciągu ostatnich 6 miesięcy. Przed rozpoczęciem badania wymagana była podpisana zgoda rodziców/opiekunów młodych sportowców na udział w badaniu. Uczestnicy

zostali wykluczeni, jeśli nie byli w stanie wykonać zadań testowych lub zgłaszali ból. Wymagane było również regularne uczestnictwo w treningach i meczach.

Badanie było częścią projektu naukowego (numer clinicaltrials.gov: NCT04780880). Zostało zaakceptowane przez Niezależną Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych w Gdańsku (numer zgody: NKBBN/680/2020) zgodnie z zaleceniami Deklaracji Helsińskiej.

Procedury

Przed wszystkimi badaniami uczestnicy otrzymali informacje i edukację na temat przebiegu badań prowadzonych przez badaczy. Pierwsza faza badania polegała na zebraniu wywiadu (kryteria włączenia, historia chorób i schorzeń, uczestnictwo w sporcie) oraz uzyskaniu podstawowych danych antropometrycznych (wiek, wysokość w pozycji stojącej, wysokość w pozycji siedzącej). Dane wyjściowe (masa ciała, wskaźnik masy ciała, masa tkanki mięśniowej, procent tkanki tłuszczowej) uzyskano przy użyciu analizatora składu ciała (InBody 270, InBody Co., Seul, Korea). Wysokość w pozycji stojącej i siedzącej oraz długość kończyn dolnych badano za pomocą miary centymetrowej. Badacze w kolejnej fazie badania przeprowadzili testy mocy kończyn dolnych (Countermovement Jump) i (Single Leg Hop for Distance oraz ocenę dynamicznej równowagi (modified Star Excursion Balance Test). Do analiz statystycznych wykorzystano dane lewej kończyny dolnej. Wszyscy badacze przeszli dodatkowe szkolenie teoretyczne i praktyczne w zakresie przeprowadzania testów przez głównego badacza w ośrodku rehabilitacyjno-szkoleniowym. Badacze przeszli szkolenie w ciągu jednego miesiąca (cztery całonocne spotkania), dwa miesiące przed głównym pomiarem.

Dojrzewanie biologiczne

Dojrzewanie biologiczne zbadano wykorzystując wzór Mirwalda i wsp. [112]. Metodyka oceny została opisana w Publikacji 2.

Dynamiczna równowaga

Do pomiaru dynamicznej równowagi został użyty Modified Star Excursion Balance Test. Dokładny opis testu został umieszczony w Publikacji 2.

Moc kończyn dolnych

W celu oceny mocy kończyn dolnych zastosowano testy CMJ i SLHD, które zostały opisane w opisie Publikacji oryginalnej 1.

Analiza statystyczna

Wszystkie zmienne były zbliżone do rozkładu normalności, co zbadano testem Shapiro-Wilka. Dlatego dane opisano jako średnie i odchylenia standardowe (Standard Deviation - SD). Do analizy związków wykorzystano współczynnik korelacji Pearsona. Siła korelacji (r) mogła być silna ($0.50 \leq r \leq 1.0$), umiarkowana ($0.3 \leq r < 0.5$) lub słaba ($r < 0.3$) [121]. W celu zbadania związku i predykcji mSEBT, CMJ i SLHD z przesunięciem dojrzałości (maturity offset) przeprowadzono analizę regresji liniowej. Wielkość efektu regresji liniowej oszacowano za pomocą częściowego kwadratu eta (η^2). η^2 klasyfikowano jako małe (≥ 0.01), średnie (≥ 0.06) i duże (≥ 0.14) [135]. Wszystkie analizy danych przeprowadzono za pomocą oprogramowania Statistica 13 (StatSoft, Kraków, Polska). Istotność ustalono wcześniej jako $p < 0.05$.

WYNIKI

Badanie przeprowadzono w grupie 72 zdrowych, młodych piłkarzy płci męskiej (wiek: 10 ± 2 lat), przesunięcie dojrzałości: (-3.7 ± 1.1 lat), szczytowa prędkość wzrostu: (13.3 ± 0.8 lat), wzrost: (139 ± 12 cm), masa ciała: (32 ± 7 kg)) trenujących w profesjonalnym klubie piłkarskim. Stwierdzono silną istotną statystycznie korelację ($p = 0.95$, $p < 0.0001$) między wiekiem kalendarzowym, a przesunięciem dojrzałości w badanej grupie.

Po przeprowadzeniu badań wykazano silny związek testów wydajności skoku - CMJ i SLHD ($r = 0.73$, $p = 0.014$). Wynik ten wspiera już istniejące ustalenia w innych badaniach naukowych (również udowodnionej w poprzedniej publikacji włączonej do pracy doktorskiej – Publikacja 2) [122,136].

Głównym wynikiem omawianego badania był istotny związek statusu dojrzałości biologicznej (przesunięcie dojrzałości) z dynamiczną równowagą ($p = 0.002$) i mocą kończyn dolnych ($p < 0.0001$) u młodych zawodników piłki nożnej. Przesunięcie dojrzałości wyjaśniało odpowiednio 75% wydajności skoku wertykalnego i 74% wydajności skoku horyzontalnego, a w mniejszym stopniu (12%) dynamicznej równowagi.

Ponadto, wyniki testów CMJ i SLHD były bezpośrednio silnie związane z równowagą dynamiczną (z wyjątkiem kierunku PM) w badanej populacji. Przeprowadzone badanie wykazało silną pozytywną korelację między dojrzałością biologiczną, a skokiem wertykalnym (CMJ) ($r = 0.75$) i skokiem horyzontalnym jednonóż (SLHD) ($r = 0.84$) u młodych piłkarzy.

Przeprowadzone badanie dostarczyło nowych danych dotyczących znaczenia związku między dynamiczną równowagą, a mocą kończyn dolnych u młodych sportowców. Ponadto wykazano, że status biologiczny może wyjaśniać w dużym stopniu wydajność skoku, a w mniejszym stopniu dynamiczną równowagę w badanej grupie. Wyniki badania sugerują, że akademie piłkarskie, praktycy sportowi i badacze powinni brać pod uwagę dojrzewanie biologiczne podczas oceny wyników sportowych, projektowania rehabilitacji i treningu wzmacniającego w celu analizy i zapobiegania urazom sportowym. Należy jednak wziąć pod uwagę ograniczenia badania, a w przyszłości przeprowadzić badania randomizowane.

6. Publikacja oryginalna 4

“Impact of Three Strengthening Exercises on Dynamic Knee Valgus and Balance with Poor Knee Control among Young Football Players: A Randomized Controlled Trial”, Wilczyński B*, Wąż P, Zorena K, *Healthcare*. 2021; 9(5):558. <https://doi.org/10.3390/healthcare9050558>

Ukierunkowana interwencja profilaktyczna powinna skupiać się na konkretnym czynniku ryzyka. Jednymi z modyfikowalnych czynników ryzyka urazów są m.in. dynamiczna koślawość kolan i ograniczona dynamiczna równowaga [11,25]. Istniejące programy ćwiczeń w celu zmniejszenia koślawości kolan opierają się głównie na dużej liczbie ćwiczeń, na różnych etapach (rozgrzewka, plyometria, siła), ćwiczeniach z wizualną informacją zwrotną (monitor lub lustro) oraz treningu równowagi [137–140]. Do problemów związanych z takimi treningami należą między innymi: długi czas trwania, wymagany specjalistyczny sprzęt, trudności w wykonywaniu ćwiczeń wymagających stałej opieki trenerów lub fizjoterapeutów. Rozwiązaniem powyższych problemów jest zastosowanie mniejszej liczby ćwiczeń, skrócenie czasu wykonania, wybór mniej skomplikowanych ćwiczeń bez użycia sprzętu, które mogą być wykonywane samodzielnie przez dzieci i młodzież w każdych warunkach.

Założeniem badania było dostarczenie względnie prostej interwencji, mało czasochłonnej i możliwej do wykonania bez specjalistycznego sprzętu również w charakterze ćwiczeń domowych. Programy ćwiczeń są najbardziej korzystne dla osób o niskiej jakości ruchu i z ryzykiem urazu, dlatego do badań warto rozważyć młodych sportowców ze słabą kontrolą kolana

(występowaniem nadmiernego koślawienia kolana) [54]. Przyczyną dynamicznej koślawości kolana może być kombinacja braku równowagi mięśniowej pomiędzy przywodzicielami i przywodzicielami bioder, rotatorami zewnętrznymi i wewnętrznymi oraz pronatorami i supinatorami stóp [54–57]

Założono, że zawodnicy z obserwowaną dynamiczną koślawością kolana mogą mieć dysbalans mięśniowy predysponujący do przywodzenia bioder, rotacji zewnętrznej piszczeli i pronacji stóp w zadaniach ruchowych na jednej nodze [54–57]. Postawiono hipotezę, że mięśnie odpowiedzialne za ruch w kierunku przeciwnym do tych predysponujących do DKV powinny być wzmacniane w celu kompensacji osiowego ustawienia kolana.

Celem badania była ocena skuteczności trzech ćwiczeń wzmacniających mięśnie (pośladkowy średni, podkolanowy, piszczelowy tylny) w celu zmniejszenia kątów koślawości kolana w teście SLS i poprawy dynamicznej równowagi w teście YBT u młodych piłkarzy. Hipoteza zakładała, że prosty program ćwiczeń wpłynie korzystnie na modyfikowalne czynniki ryzyka.

Material i metody

Uczestnicy

Uczestnicy zostali zrekrutowani do badania z lokalnego klubu piłkarskiego z Gdyni przez zaproszenia, broszury i e-maile wysyłane do trenerów i pracowników administracyjnych klubu. Pod kątem kwalifikowalności zostało ocenionych 134 piłkarzy. Ostatecznie czterdziestu pięciu piłkarzy spełniło kryteria włączenia i wzięło udział w badaniu. Przebieg badania i powody wykluczeń uczestników przedstawiono na rycinie 9. Młodzi mężczyźni piłkarze ze słabą kontrolą kolana zostali zakwalifikowani, jeśli spełnili kryteria włączenia: (1) dostarczyli pisemną zgodę opiekuna/rodzica na udział w badaniu (2) byli zdrowi, nie zgłaszali dolegliwości bólowych (3) dostarczyli zgodę na udział w zawodach sportowych wydaną przez lekarza medycyny sportowej (4) posiadali minimum 2-letnie doświadczenie w treningach i rozgrywkach piłkarskich oraz (5) spełnili kryterium słabej kontroli kolana - dynamicznej

koślawości kolana (kąt FPPA > 15° podczas testu SLS w analizie wideo 2D). Wykluczono uczestników, którzy (1) nie byli w stanie wykonywać ćwiczeń wzmacniających i nie mogli uczestniczyć w zajęciach sportowych ze względu na problemy zdrowotne, (2) w ciągu ostatnich 2 lat przeszli operację kończyny dolnej lub tułowia.

Rycina 9. Schemat wg. CONSORT (Consolidated Standards of reporting trials – skonsolidowane standardy raportowania badań klinicznych) w zakresie rekrutacji i utrzymywania badań.

Projekt badania

Zrealizowano badanie randomizowane w grupach, aby porównać grupę wykonującą trzy ćwiczenia wzmacniające z grupą kontrolną bez interwencji. Uczestnicy zostali losowo przydzieleni do Grupy Ćwiczeń lub Grupy Kontrolnej w sposób zaślepiiony po pierwszym etapie badania w stosunku 1:1 przy użyciu metody komputerowej (Rycina 9). Grupa Ćwiczeń została przydzielona do 6-tygodniowego programu wzmacniającego. Grupa kontrolna nie wykonywała ćwiczeń. Obie grupy uczestniczyły bez przerw w swojej aktywności sportowej.

Badanie zostało zaprojektowane i zrelacjonowane zgodnie z wytycznymi CONSORT [141]. Zaślepienie uczestników i autorów nie było możliwe. Badanie zostało zatwierdzone przez Niezależną Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych przy Gdańskim Uniwersytecie Medycznym (NKBBN/567/2018).

Wszystkie badania i nadzór nad ćwiczeniami odbywały się w Centrum Rehabilitacyjno-Szkoleniowym w godzinach popołudniowych (15-18). Do analizy składu ciała wykorzystano analizator InBody 270 (InBody Co., Seul, Korea), a pomiaru wzrostu dokonano metodą laserową (InKids, InBody Co., Seul, Korea).

Single Leg Squat/Analiza wideo 2D

Do badania przesiewowego (oceny kwalifikowalności „słabej kontroli kolana”) oraz na późniejszym etapie oceny kątów dynamicznego koślawienia

zastosowano test SLS i analizę wideo 2D z użyciem oprogramowania Kinovea, których metodyka została opisana w poprzednich rozdziałach (Publikacja 2).

Rycina 10. Analizy wideo testu SLS w projekcji czołowej i strzałkowej. (A) i (C)- kąt początkowy, początek testu, (B) i (D)- maksymalne DKV [58].

Dynamiczna równowaga

Do oceny wartości dynamicznej młodych sportowców wykorzystano Y-Balance Test. Metodyka pomiarów była identyczna jak zostało opisane w poprzednich opisach w Publikacji 1.

Interwencja - Program ćwiczeń

Grupa Ćwiczeń została przydzielona do 6-tygodniowego programu treningowego, który odbywał się trzy razy w tygodniu samodzielnie w domu i raz na treningu pod kontrolą fizjoterapeutów i trenerów sportowych. Program składał się z trzech izolowanych ćwiczeń wzmacniających mięśnie z wykorzystaniem elastycznej taśmy rehabilitacyjnej jako oporu zewnętrznego. Ćwiczenia miały na celu wzmocnić mięśnie pośladkowy średni, podkolanowy, piszczelowy tylny (Rycina 11). Zaproponowane ćwiczenia wpływają na ruchy odpowiednio w stawie biodrowym, kolanowym i skokowym. Ćwiczenia zostały zaproponowane przez badaczy w publikacjach w przeszłości [60,61,63]. Metodykę wykonywania ćwiczeń oparto na wytycznych Narodowego Zdrowia Medycyny Sportowej (National Health of Sports Medicine). Ćwiczenie polegało na kombinacji skurczów koncentrycznych (1 sekunda), izometrycznych (2 sekundy) i ekscentrycznych (4 sekundy) w celu jak najlepszej aktywacji danego mięśnia [142]. Przerwa między każdą serią wynosiła 60 sekund, a czas między ćwiczeniami od 1 do 3 minut. Ćwiczenia wykonywano odpowiednio dla lewej i prawej kończyny dolnej. Opis i progresję tych ćwiczeń przedstawia tabela 2. Na Rycinie 11 uwidocznione zostały pozycje wyjściowe i końcowe ćwiczeń.

Tabela 1. Opis ćwiczeń oraz progresja tygodniowa [143].

Ćwiczony mięsień	Pozycja wyjściowa	Ruch	Tydzień 1	Tydzień 2–3	Tydzień 4–6
Pośladkowy średni [60]	leżenie na boku, kończyna dolna wolna zgięta w stawie kolanowym 90°, kończyna dolna ćwiczona wyprostowana. Ręka po stronie nogi ćwiczonej spoczywa na biodrze. Taśma zamocowana nad rzepką.	Odwodzenie biodra do kąta około 30° w stawie biodrowym.			
Podkolano wy [63]	Stanie na jednej nodze. Ręce spoczywają na biodrach. Taśma nałożona na przednią część stopy.	Ruch zgięcia w stawie kolanowym z jednoczesną rotacją zewnętrzną uda i rotacją wewnętrzną piszczeli.	2 serie 10 powtórzeń	3 serie 10 powtórzeń	3 serie 15 powtórzeń
Piszczelowy tylny [61]	Pozycja siedząca z kolanami zgiętymi pod kątem około 90°, przedramię z boku nogi ćwiczonej oparte na kolanie. Pięta ma kontakt z podłożem. Taśma zaczepiona na przedniej części stopy.	Przywiedzenie stopy i rotacja wewnętrzna piszczeli bez ruchu kości udowej.			

Taśma elastyczna jako opór zewnętrzny była dobierana do wieku uczestnika. Młodszy uczestnicy w wieku 11-13 lat otrzymali niebieską taśmę o grubości 0.50 mm (słabsze napięcie), a uczestnicy w wieku 14-16 lat czarną taśmę o większym oporze 0.65 mm (mocniejsze napięcie). Oprócz tego uczestnicy otrzymali pakiet z informacjami dla opiekuna/rodzica dotyczące wsparcia motywacyjnego i zaangażowania w ćwiczenia młodego sportowca oraz ilustracje z dokładnym opisem ćwiczeń. Ponadto, uczestnicy uzyskali broszurę ze specjalnie wygenerowanym adresem strony internetowej do bazy, w której zamieszczone były filmy instruktażowe dotyczące danego ćwiczenia i sposobu wiązania taśmy. W skład pakietu wchodził również dzienniczek treningowy z informacjami o postępach w realizacji tygodniowego programu.

Zadaniem badanych było zaznaczanie dni treningowych w dzienniczku treningowym jako weryfikacja wykonywania ćwiczeń domowych.

Rycina 11. Pozycja początkowa i końcowa ćwiczenia. (A,B)- ćwiczenie mięśnia pośladkowego średniego, (C,D)- ćwiczenie mięśnia podkolanowego, (E,F)- ćwiczenie mięśnia piszczelowego tylnego [58].

Analiza statystyczna

Normalność danych określono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Wyniki, które spełniały kryteria normalności rozkładu, przedstawiano jako średnie SD. Jeśli wyniki były nieparametryczne to opisywano je jako mediany i zakresy międzykwartylowe (IQR). Porównania międzygrupowe i wewnątrzgrupowe przedstawiono jako średnie i odchylenia standardowe (SD). Porównania między okresem przed interwencją, a po interwencji dla wyników nieparametrycznych w każdej grupie przeprowadzono test Wilcoxon signed-rank (test rangowanych znaków Wilcoxon). Porównanie wyników Grupy Badanej i Grupy Kontrolnej zostało wykonane z wykorzystaniem testu U Manna-Whitneya. Porównania dla wyników parametrycznych między przed interwencją, a po interwencji wykonano z użyciem niezależnego testu t-Studenta. Do porównania różnic pomiędzy wartościami przed i po interwencji dla Grupy Badanej i Grupy Kontrolnej zastosowano 2 x 2 (czas x grupy) ANOVA z powtarzanymi wynikami (repeated measures ANOVA). Wielkość efektu obliczono jako Cohen's d z kryteriami dla wartości d: 0.2 uznawano za mały, 0.5 za średni, a 0.8 za duży. Dla wszystkich analiz statystycznych przyjęto poziom istotności $p < 0.05$. Wszystkie dane zostały przetworzone za pomocą oprogramowania Statistica (Statistica 12).

Wyniki

Łącznie 134 młodych męskich graczy z lokalnego klubu piłkarskiego w Gdyni zostało poddanych badaniu przesiewowemu z czego 103 zostało zaproszonych do następnego etapu oceny kwalifikowalności. Wstępnie włączona grupa 101 uczestników, którzy zostali poddani ocenie kinematyki kończyn dolnych, aż 45 miało zwiększony kąt koślawienia (powyżej 15 stopni), co wskazuje na skalę problemu na przykładzie próby populacji młodych piłkarzy. Ostatecznie 45 uczestników spełniło kryteria włączenia, a 58 zostało wykluczonych (Rycina 9). Grupy nie różniły się między sobą w charakterystyce antropometrycznej oraz dynamicznej równowadze i koślawości kolana przed interwencją. W sumie ośmiu (24%) uczestników zrezygnowało w trakcie badań (sześciu w grupie kontrolnej, pięciu w grupie interwencji, w tym trzy osoby z powodu urazów).

Dynamiczna koślawość kolana

Nie stwierdzono istotnych zależności między grupami, a czasem dla dynamicznej koślawości kolana dla lewej ($p = 0.291$) i prawej kończyny dolnej ($p = 0.905$; Rycina 12) u młodych piłkarzy.

Rycina 12. Średnia z SD ($^{\circ}$) dla obu grup w okresie przed interwencją i po interwencji dla (a) kątów koślawości prawego kolana i (b) kątów koślawości lewego kolana.

W Grupie Ćwiczącej wartości kąta dynamicznej koślawości kolan wykazały tendencję do zmniejszenia po programie ćwiczeń dla stawu kolanowego lewego (2.62°) Jednak mimo tej różnicy nie była ona istotna statystycznie (p -value = 0,309) i była niższa niż błąd standardowy pomiaru (SEM - standard error of measurement) (określona w badaniach Gwynne i wsp. 2014 na 4°) [124].

Porównanie Grupy Ćwiczącej z Grupą Kontrolną nie wykazało istotnych statystycznie zmian przed interwencją dla lewego ($p = 0.426$) i prawego stawu

kolanowego ($p = 0.469$) oraz w po interwencji dla lewego ($p = 0.109$) i prawego stawu kolanowego ($p = 0.427$).

Dynamiczna równowaga

Nie było różnic istotnych statystycznie ($p > 0.05$) we wszystkich wynikach YBT dla prawej i lewej kończyny dolnej między grupami na etapach przed i po interwencji. W Grupie Ćwiczącej wynik testu YBT kierunku przedniego (ANT) wzrósł z (69.1; IQR = 8.1) do (73.6; IQR = 8.3; $p = 0.038$) dla prawych kończyn dolnych oraz z (68.3; IQR = 7.2) do (71.9; IQR = 7.3; $p = 0.039$) dla lewych kończyn dolnych. YBT kierunku tylnoprzyśrodkowy (PM) dla prawych kończyn dolnych wzrósł z poziomu przed treningiem (104.3; IQR = 12.3) do poziomu po treningu (110.0; IQR = 11.4; $p = 0.006$). Kierunek złożony (COM) YBT dla prawych kończyn dolnych wzrósł z poziomu (92.2; IQR = 5.9) do poziomu po treningu (97.9; IQR = 6.3; $p = 0.014$) wśród piłkarzy w Grupie Ćwiczącej. Zmiany te były jednak niższe niż minimalna wykrywalna zmiana (MDC), które opisano w badaniu Powden i wsp. 2019 (ANT = 5.87%, PM=7.84%, PL=7.55%) [144].

Nie stwierdzono istotnych zmian w YBT kierunku tylnobocznym (PL) (dla lewej i prawej kończyny dolnej), tylnoprzyśrodkowym (PM) oraz w wyniku złożonym (COM) dla lewej kończyny dolnej między przed interwencją, a po interwencji w Grupie Ćwiczącej u młodych piłkarzy.

Badanie wykazało brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupami w dynamicznej koślawości kolana i wartościach dynamicznej równowagi po 6 tygodniach ćwiczeń wzmacniających mięśnie pośladkowe, podkolanowe i piszczelowe tylne u młodych piłkarzy ze słabą kontrolą kolana. Pomimo istotnych statystycznie zmian w grupie ćwiczącej dla kończyny dolnej prawej dla ANT, PM i COM oraz kończyny lewej dla ANT, zmiany te były nieistotne

klinicznie. Przyszłe badania, biorąc pod uwagę wykazane wyniki, powinny skupić się na bardziej wszechstronnych ćwiczeniach, w miarę możliwości z wykorzystaniem metod sprzężenia zwrotnego w celu poprawy kinematyki kolana.

5. Wnioski końcowe

1. Przeprowadzone badania potwierdziły znaczenie związku między dynamiczną równowagą, a mocą kończyn dolnych u młodych zawodników piłki nożnej i młodzieżowych rugbystów (Pub. 1 i 2). Dynamiczna równowaga może być umiarkowanym predyktorem dla skoków horyzontalnych w populacji młodych piłkarzy. Uzyskana wiedza odnośnie zmiennych, które są od siebie zależne, może pomóc w ocenie ryzyka urazu u młodych sportowców oraz pomóc w projektowaniu interwencji zapobiegających urazom i zwiększeniu wydajności sportowej.
2. Badani młodzi piłkarze z mniejszym zakresem ruchomości rotacji zewnętrznej i wewnętrznej stawu biodrowego, większym zakresem zgięcia kręgosłupa i mniejszym zakresem ruchu zgięcia grzbietowego w stawie skokowym mogą być bardziej skłonni do większej dynamicznej koślawości kolan w zadaniach ruchowych jednonóż. Zakres ruchomości rotacji zewnętrznej stawu biodrowego i test siadania i sięgania może pomóc w predykcji koślawości kolan podczas przysiadu jednonóż. (Pub 2).
3. Wartości kątowe dynamicznej koślawości kolan były większe w teście przysiadu jednonóż (SLS) niż w teście lądowania jednonóż (SLL). Dlatego też, nie należy stosować testów SLS i SLL zamiennie (Pub 2).

4. Dojrzewanie biologiczne może tłumaczyć w dużym stopniu moc kończyn dolnych, a w mniejszym stopniu dynamiczną równowagę w badanej grupie młodych piłkarzy. Akademie piłkarskie, praktycy sportowi i badacze powinni uwzględniać dojrzewanie biologiczne w ocenie sprawności sportowej, projektowaniu rehabilitacji i treningów siłowych oraz w analizie i profilaktyce urazów sportowych (Pub 3).

5. Sześciotygodniowy program ćwiczeń wzmacniający mięśnie pośladkowy średni, podkolanowy i piszczelowy tylny nie był skuteczny w poprawie dynamicznej koślawości kolan i dynamicznej równowagi u młodych piłkarzy ze słabą kontrolą kolan (Pub 4).

6. Wykaz cytowanego piśmiennictwa

1. Krustrup, P.; Aagaard, P.; Nybo, L.; Petersen, J.; Mohr, M.; Bangsbo, J. Recreational Football as a Health Promoting Activity: A Topical Review. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2010**, *20 Suppl 1*, 1–13, doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01108.x.
2. Faude, O.; Rößler, R.; Junge, A. Football Injuries in Children and Adolescent Players: Are There Clues for Prevention? *Sport. Med.* **2013**, *43*, 819–837, doi:10.1007/s40279-013-0061-x.
3. Giannotti, M.; Al-Sahab, B.; McFaull, S.; Tamim, H. Epidemiology of Acute Soccer Injuries in Canadian Children and Youth. *Pediatr. Emerg. Care* **2011**, *27*, 81–85, doi:10.1097/PEC.0b013e3182094340.
4. Adams, A.L.; Schiff, M.A. Childhood Soccer Injuries Treated in U.S. Emergency Departments. *Acad. Emerg. Med.* **2006**, *13*, 571–574, doi:10.1197/j.aem.2005.12.015.
5. Bizzini, M.; Junge, A.; Dvorak, J. Implementation of the FIFA 11+ Football Warm up Program: How to Approach and Convince the Football Associations to Invest in Prevention. *Br. J. Sports Med.* **2013**, *47*, 803–806, doi:10.1136/bjsports-2012-092124.
6. Read, P.J.; Oliver, J.L.; De Ste Croix, M.B.A.; Myer, G.D.; Lloyd, R.S. Assessment of Injury Risk Factors in Male Youth Soccer Players. *Strength Cond. J.* **2016**, *38*, 12–21, doi:10.1519/SSC.0000000000000184.
7. Waldén, M.; Hägglund, M.; Magnusson, H.; Ekstrand, J. ACL Injuries in Men's Professional Football: A 15-Year Prospective Study on Time Trends and Return-to-Play Rates Reveals Only 65% of Players Still Play at the Top Level 3 Years after ACL Rupture. *Br. J. Sports Med.* **2016**, *50*, 744–750, doi:10.1136/bjsports-2015-095952.
8. Haseler, C.M.; Carmont, M.R.; England, M. The Epidemiology of Injuries in English Youth Community Rugby Union. *Br. J. Sports Med.* **2010**, *44*, 1093–1099, doi:10.1136/bjism.2010.074021.
9. Collins, C.L.; Micheli, L.J.; Yard, E.E.; Comstock, R.D. Injuries Sustained by High School Rugby Players in the United States, 2005–2006. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* **2008**, *162*, 49–54, doi:10.1001/archpediatrics.2007.1.
10. Emery, C.A. Injury Prevention in Paediatric Sport-Related Injuries: A Scientific Approach. *Br. J. Sports Med.* **2010**, *44*, 64–69, doi:10.1136/bjism.2009.068353.
11. Read, P.J.; Jimenez, P.; Oliver, J.L.; Lloyd, R.S. Injury Prevention in Male Youth Soccer: Current Practices and Perceptions of Practitioners Working at Elite English Academies. *J.*

- Sports Sci.* **2018**, 36, 1423–1431, doi:10.1080/02640414.2017.1389515.
12. Gomes Neto, M.; Conceição, C.S.; De Lima Brasileiro, A.J.A.; De Sousa, C.S.; Carvalho, V.O.; De Jesus, F.L.A. Effects of the FIFA 11 Training Program on Injury Prevention and Performance in Football Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin. Rehabil.* **2017**, 31, 651–659, doi:10.1177/0269215516675906.
 13. Bizzini, M.; Dvorak, J. FIFA 11+: An Effective Programme to Prevent Football Injuries in Various Player Groups Worldwide - A Narrative Review. *Br. J. Sports Med.* **2015**, 49, 577–579, doi:10.1136/bjsports-2015-094765.
 14. Rodríguez, C.; Echegoyen, S.; Aoyama, T. The Effects of 'Prevent Injury and Enhance Performance Program' in a Female Soccer Team. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2018**, 58, 659–663, doi:10.23736/S0022-4707.17.07024-4.
 15. Beck, N.A.; Lawrence, J.T.R.; Nordin, J.D.; DeFor, T.A.; Tompkins, M. ACL Tears in School-Aged Children and Adolescents over 20 Years. *Pediatrics* **2017**, 139, doi:10.1542/peds.2016-1877.
 16. B.c, W.; S, Y.; A.m, L.; F.w, G. Trends in Pediatric and Adolescent Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction. *J. Pediatr. Orthop.* **2015**, 00, 1–6.
 17. Merkel, D. Youth Sport: Positive and Negative Impact on Young Athletes. *Open Access J. Sport. Med.* **2013**, 151, doi:10.2147/oajsm.s33556.
 18. Ellenberger, L.; Oberle, F.; Lorenzetti, S.; Frey, W.O.; Snedeker, J.G.; Spörri, J. Dynamic Knee Valgus in Competitive Alpine Skiers: Observation from Youth to Elite and Influence of Biological Maturation. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* **2020**, 30, 1212–1220, doi:10.1111/sms.13657.
 19. Neal, B.S.; Barton, C.J.; Gallie, R.; O'Halloran, P.; Morrissey, D. Runners with Patellofemoral Pain Have Altered Biomechanics Which Targeted Interventions Can Modify: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Gait Posture* **2016**, 45, 69–82, doi:10.1016/j.gaitpost.2015.11.018.
 20. Wilczyński, B.; Zorena, K.; Ślęzak, D. Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. A Literature Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, 17, 8208, doi:10.3390/ijerph17218208.
 21. Bittencourt, N.F.N.; Meeuwisse, W.H.; Mendonça, L.D.; Nettel-Aguirre, A.; Ocarino, J.M.; Fonseca, S.T. Complex Systems Approach for Sports Injuries: Moving from Risk Factor Identification to Injury Pattern Recognition - Narrative Review and New Concept. *Br. J. Sports Med.* **2016**, 50, 1309–1314, doi:10.1136/bjsports-2015-095850.
 22. Wang, H.K.; Chen, C.H.; Shiang, T.Y.; Jan, M.H.; Lin, K.H. Risk-Factor Analysis of High School Basketball-Player Ankle Injuries: A Prospective Controlled Cohort Study Evaluating Postural Sway, Ankle Strength, and Flexibility. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2006**, 87, 821–825, doi:10.1016/j.apmr.2006.02.024.
 23. Räsänen, A.M.; Pasanen, K.; Krosshaug, T.; Vasankari, T.; Kannus, P.; Heinonen, A.; Kujala, U.M.; Avela, J.; Perttunen, J.; Parkkari, J. Association between Frontal Plane Knee Control and Lower Extremity Injuries: A Prospective Study on Young Team Sport Athletes. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* **2018**, 4, doi:10.1136/bmjsem-2017-000311.
 24. Muehlbauer, T.; Gollhofer, A.; Granacher, U. Associations Between Measures of Balance and Lower-Extremity Muscle Strength/Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport. Med.* **2015**, 45, 1671–1692, doi:10.1007/s40279-015-0390-z.

25. Hewett, T.E.; Myer, G.D.; Ford, K.R.; Heidt, R.S.; Colosimo, A.J.; McLean, S.G.; Van Den Bogert, A.J.; Paterno, M. V.; Succop, P. Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes: A Prospective Study. *Am. J. Sports Med.* **2005**, *33*, 492–501, doi:10.1177/0363546504269591.
26. Hewett, T.E.; Myer, G.D.; Ford, K.R. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *Am. J. Sports Med.* **2006**, *34*, 299–311, doi:10.1177/0363546505284183.
27. Holden, S.; Boreham, C.; Doherty, C.; Delahunt, E. Two-Dimensional Knee Valgus Displacement as a Predictor of Patellofemoral Pain in Adolescent Females. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* **2017**, *27*, 188–194, doi:10.1111/sms.12633.
28. Petersen, W.; Rembitzki, I.; Liebau, C. Patellofemoral Pain in Athletes. *Open Access J. Sport. Med.* **2017**, Volume 8, 143–154, doi:10.2147/oajsm.s133406.
29. Prins, M.R.; van der Wurff, P. Females with Patellofemoral Pain Syndrome Have Weak Hip Muscles: A Systematic Review. *Aust. J. Physiother.* **2009**, *55*, 9–15, doi:10.1016/S0004-9514(09)70055-8.
30. Herrington, L. Knee Valgus Angle during Single Leg Squat and Landing in Patellofemoral Pain Patients and Controls. *Knee* **2014**, *21*, 514–517, doi:10.1016/j.knee.2013.11.011.
31. Yamazaki, J.; Muneta, T.; Ju, Y.J.; Sekiya, I. Differences in Kinematics of Single Leg Squatting between Anterior Cruciate Ligament-Injured Patients and Healthy Controls. *Knee Surgery, Sport. Traumatol. Arthrosc.* **2010**, *18*, 56–63, doi:10.1007/s00167-009-0892-z.
32. Waldén, M.; Krosshaug, T.; Børneboe, J.; Andersen, T.E.; Faul, O.; Hägglund, M. Three Distinct Mechanisms Predominate in Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries in Male Professional Football Players: A Systematic Video Analysis of 39 Cases. *Br. J. Sports Med.* **2015**, *49*, 1452–1460, doi:10.1136/bjsports-2014-094573.
33. Grassi, A.; Smiley, S.P.; Roberti di Sarsina, T.; Signorelli, C.; Marcheggiani Muccioli, G.M.; Bondi, A.; Romagnoli, M.; Agostini, A.; Zaffagnini, S. Mechanisms and Situations of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Male Soccer Players: A YouTube-Based Video Analysis. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* **2017**, *27*, 967–981, doi:10.1007/s00590-017-1905-0.
34. Kanamori, A.; Woo, S.L.Y.; Ma, C.B.; Zeminski, J.; Rudy, T.W.; Li, G.; Livesay, G.A. The Forces in the Anterior Cruciate Ligament and Knee Kinematics during a Simulated Pivot Shift Test: A Human Cadaveric Study Using Robotic Technology. *Arthroscopy* **2000**, *16*, 633–639, doi:10.1053/jars.2000.7682.
35. Wilczyński, B.; Zorena, K.; Ślęzak, D. Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. a Literature Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 1–17, doi:10.3390/IJERPH17218208.
36. Schurr, Stacy A.; Marshall, Ashley N.; Resch, Jacob E.; Saliba, S.A.. TWO-DIMENSIONAL VIDEO ANALYSIS IS COMPARABLE TO 3D MOTION CAPTURE IN LOWER EXTREMITY MOVEMENT ASSESSMENT. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2017**, *12*, 163–172.
37. Werner, D.M.; Di Stasi, S.; Lewis, C.L.; Barrios, J.A. Test-Retest Reliability and Minimum Detectable Change for Various Frontal Plane Projection Angles during Dynamic Tasks. *Phys. Ther. Sport* **2019**, *40*, 169–176, doi:10.1016/j.ptsp.2019.09.011.
38. McLean, S.G.; Walker, K.; Ford, K.R.; Myer, G.D.; Hewett, T.E.; Van Den Bogert, A.J. Evaluation of a Two Dimensional Analysis Method as a Screening and Evaluation Tool for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Br. J. Sports Med.* **2005**, *39*, 355–362,

doi:10.1136/bjism.2005.018598.

39. Willson, J.D.; Davis, I.S. Utility of the Frontal Plane Projection Angle in Females with Patellofemoral Pain. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2008**, *38*, 606–615, doi:10.2519/jospt.2008.2706.
40. Balsalobre-Fernández, C.; Tejero-González, C.M.; Campo-Vecino, J. Del; Bavaresco, N. The Concurrent Validity and Reliability of a Low-Cost, High-Speed Camera-Based Method for Measuring the Flight Time of Vertical Jumps. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 528–533, doi:10.1519/JSC.0b013e318299a52e.
41. Puig, A.; Escalona, C.; Padullés, J.; Busquets, A.; Padullés, X.; Marcos, D. Validity and Reliability of the Kinovea Program in Obtaining Angles and Distances Using Coordinates in 4 Perspectives. *PLoS One* **2019**, *14*, 1–14, doi:10.5281/zenodo.2843847.
42. DiCesare, C.A.; Montalvo, A.; Barber Foss, K.D.; Thomas, S.M.; Ford, K.R.; Hewett, T.E.; Jayanthi, N.A.; Straccolini, A.; Bell, D.R.; Myer, G.D. Lower Extremity Biomechanics Are Altered across Maturation in Sport-Specialized Female Adolescent Athletes. *Front. Pediatr.* **2019**, *7*, 1–11, doi:10.3389/fped.2019.00268.
43. Munro, A.; Herrington, L.; Comfort, P. The Relationship between 2-Dimensional Knee-Valgus Angles during Single-Leg Squat, Single-Leg-Land, and Drop-Jump Screening Tests. *J. Sport Rehabil.* **2017**, *26*, 72–77, doi:10.1123/jsr.2015-0102.
44. Padua, D.A.; Bell, D.R.; Clark, M.A. Neuromuscular Characteristics of Individuals Displaying Excessive Medial Knee Displacement. *J. Athl. Train.* **2012**, *47*, 525–536, doi:10.4085/1062-6050-47.5.10.
45. Ali, N.; Rouhi, G.; Robertson, G. Gender, Vertical Height and Horizontal Distance Effects on Single-Leg Landing Kinematics: Implications for Risk of Non-Contact ACL Injury. *J. Hum. Kinet.* **2013**, *37*, 27–38, doi:10.2478/hukin-2013-0022.
46. Lyle, M.A.; Valero-Cuevas, F.J.; Gregor, R.J.; Powers, C.M. Control of Dynamic Foot-Ground Interactions in Male and Female Soccer Athletes: Females Exhibit Reduced Dexterity and Higher Limb Stiffness during Landing. *J. Biomech.* **2014**, *47*, 512–517, doi:10.1016/j.jbiomech.2013.10.038.
47. Donohue, M.R.; Ellis, S.M.; Heinbaugh, E.M.; Stephenson, M.L.; Zhu, Q.; Dai, B. Differences and Correlations in Knee and Hip Mechanics during Single-Leg Landing, Single-Leg Squat, Double-Leg Landing, and Double-Leg Squat Tasks. *Res. Sport. Med.* **2015**, *23*, 394–411, doi:10.1080/15438627.2015.1076413.
48. Taylor, J.B.; Ford, K.R.; Nguyen, A.D.; Shultz, S.J. Biomechanical Comparison of Single- and Double-Leg Jump Landings in the Sagittal and Frontal Plane. *Orthop. J. Sport. Med.* **2016**, *4*, 1–9, doi:10.1177/2325967116655158.
49. Harty, C.M.; DuPont, C.E.; Chmielewski, T.L.; Mizner, R.L. Intertask Comparison of Frontal Plane Knee Position and Moment in Female Athletes during Three Distinct Movement Tasks. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* **2011**, *21*, 98–105, doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01022.x.
50. Santamaria, L.J.; Webster, K.E. The Effect of Fatigue on Lower-Limb Biomechanics during Single-Limb Landings: A Systematic Review. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2010**, *40*, 464–473, doi:10.2519/jospt.2010.3295.
51. Koga, H.; Nakamae, A.; Shima, Y.; Iwasa, J.; Myklebust, G.; Engebretsen, L.; Bahr, R.; Krosshaug, T. Mechanisms for Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: Knee Joint Kinematics in 10 Injury Situations from Female Team Handball and Basketball. *Am. J. Sports Med.* **2010**, *38*, 2218–2225, doi:10.1177/0363546510373570.

52. Krosshaug, T.; Nakamae, A.; Boden, B.P.; Engebretsen, L.; Smith, G.; Slauterbeck, J.R.; Hewett, T.E.; Bahr, R. Mechanisms of Anterior Cruciate Ligament Injury in Basketball: Video Analysis of 39 Cases. *Am. J. Sports Med.* **2007**, *35*, 359–367, doi:10.1177/0363546506293899.
53. Mauntel, T.C.; Frank, B.S.; Begalle, R.L.; Blackburn, J.T.; Padua, D.A. Kinematic Differences between Those with and without Medial Knee Displacement during a Single-Leg Squat. *J. Appl. Biomech.* **2014**, *30*, 707–712, doi:10.1123/jab.2014-0003.
54. Bell, D.R.; Oates, D.C.; Clark, M.A.; Padua, D.A. Two- and 3-Dimensional Knee Valgus Are Reduced after an Exercise Intervention in Young Adults with Demonstrable Valgus during Squatting. *J. Athl. Train.* **2013**, *48*, 442–449, doi:10.4085/1062-6050-48.3.16.
55. Mauntel, Timothy C.; Begalle, Rebecca; Cram, Tyler; Frank, Barnett; Hirth, Christopher; Blackburn, Troy; Padua, D. The Effects of Lower Extremity Muscle Activation and Passive Range of Motion on Single Leg Squat Performance. *J. Strength Cond. Res.* **2013**, *27*, 1813–1823.
56. Wyndow, N.; De Jong, A.; Rial, K.; Tucker, K.; Collins, N.; Vicenzino, B.; Russell, T.; Crossley, K. The Relationship of Foot and Ankle Mobility to the Frontal Plane Projection Angle in Asymptomatic Adults. *J. Foot Ankle Res.* **2016**, *9*, 1–7, doi:10.1186/s13047-016-0134-9.
57. Neamatallah, Z.; Herrington, L.; Jones, R. An Investigation into the Role of Gluteal Muscle Strength and EMG Activity in Controlling HIP and Knee Motion during Landing Tasks. *Phys. Ther. Sport* **2020**, *43*, 230–235, doi:10.1016/j.ptsp.2019.12.008.
58. Wilczyński, B.; Wąż, P.; Zorena, K. Impact of Three Strengthening Exercises on Dynamic Knee Valgus and Balance with Poor Knee Control among Young Football Players: A Randomized Controlled Trial. *Healthc.* **2021**, *9*, doi:10.3390/healthcare9050558.
59. Ford, K.; Nguyen, A.-D.; Dischiavi, S.; Hegedus, E.; Zuk, E.; Taylor, J. An Evidence-Based Review of Hip-Focused Neuromuscular Exercise Interventions to Address Dynamic Lower Extremity Valgus. *Open Access J. Sport. Med.* **2015**, *291*, doi:10.2147/oajsm.s72432.
60. Reiman, M.P.; Bolgla, L.A.; Loudon, J.K. A Literature Review of Studies Evaluating Gluteus Maximus and Gluteus Medius Activation during Rehabilitation Exercises. *Physiother. Theory Pract.* **2012**, *28*, 257–268, doi:10.3109/09593985.2011.604981.
61. Kulig, K.; Burnfield, J.M.; Requejo, S.M.; Sperry, M.; Terk, M. Selective Activation of Tibialis Posterior: Evaluation by Magnetic Resonance Imaging. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2004**, *36*, 862–867, doi:10.1249/01.MSS.0000126385.12402.2E.
62. Nyland, J.; Lachman, N.; Kocabey, Y.; Brosky, J.; Altun, R.; Caborn, D. Anatomy, Function, and Rehabilitation of the Popliteus Musculotendinous Complex. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2005**, *35*, 165–179, doi:10.2519/jospt.2005.35.3.165.
63. Soda, N.; Fujihashi, Y.; Aoki, T. In Vivo Ultrasound Imaging of the Popliteus Muscle: Investigation of Functional Characteristics. *J. Phys. Ther. Sci.* **2016**, *28*, 979–982, doi:10.1589/jpts.28.979.
64. Gabbe, B.J.; Bennell, K.L.; Wajswelner, H.; Finch, C.F. Reliability of Common Lower Extremity Musculoskeletal Screening Tests. *Phys. Ther. Sport* **2004**, *5*, 90–97, doi:10.1016/j.ptsp.2004.01.003.
65. Dill, K.E.; Begalle, R.L.; Frank, B.S.; Zinder, S.M.; Padua, D.A. Altered Knee and Ankle Kinematics during Squatting in Those with Limited Weight-Bearing-Lunge Ankle-Dorsiflexion Range of Motion. *J. Athl. Train.* **2014**, *49*, 723–732, doi:10.4085/1062-6050-49.3.29.

66. Lima, Y.L.; Ferreira, V.M.L.M.; de Paula Lima, P.O.; Bezerra, M.A.; de Oliveira, R.R.; Almeida, G.P.L. The Association of Ankle Dorsiflexion and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys. Ther. Sport* **2018**, *29*, 61–69, doi:10.1016/j.ptsp.2017.07.003.
67. Biencourt, N.F.N.; Ocarino, J.M.; Mendonça, L.D.; Hewe, T.E.; Fonseca, S.T. Foot and Hip Contributions to High Frontal Plane Knee Projection Angle in Athletes: A Classification and Regression Tree Approach. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2012**, *42*, 996–1004, doi:10.2519/jospt.2012.4041.
68. Earl, J.E.; Hertel, J. Lower-Extremity Muscle Activation during the Star Excursion Balance Tests. *J. Sport Rehabil.* **2001**, *10*, 93–104, doi:10.1123/jsr.10.2.93.
69. Boey, D.; JC Lee, M. The Relationship Between Y-Balance Test Scores and Knee Moments During Single-Leg Jump-Landing in Netball. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2020**, *15*, 722–731, doi:10.26603/ijsp20200722.
70. Błaszczyk J.W.; Czerwosz L. Stabilność Posturalna w Procesie Starzenia. Postural Stability in the Process of Aging. *Gerontol. Pol.* **2006**, *13*, 25–36.
71. Johnston, W.; Duignan, C.; Coughlan, G.F.; Caulfield, B. Dynamic Balance Performance Varies by Position but Not by Age Group in Elite Rugby Union Players—a Normative Study. *J. Sports Sci.* **2019**, *37*, 1308–1313, doi:10.1080/02640414.2018.1557360.
72. Mikel R. Stiffler, BA1,2, Jennifer L. Sanfilippo, LAT, MS2,3, M. Alison Brooks, MD, MPH1,2, Bryan C. Heiderscheit, PT, PhD1, 2 1Department Star Excursion Balance Test Performance Varies by Sport in Healthy Division I Collegiate Athletes. *J. Orthop. Sport. Phys. Ther.* **2015**, 181–190.
73. Plisky, P.J.; Rauh, M.J.; Kaminski, T.W.; Underwood, F.B. Star Excursion Balance Test as a Predictor of Lower Extremity Injury in High School Basketball Players. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2006**, *36*, 911–919, doi:10.2519/jospt.2006.2244.
74. Butler, R.J.; Lehr, M.E.; Fink, M.L.; Kiesel, K.B.; Plisky, P.J. Dynamic Balance Performance and Noncontact Lower Extremity Injury in College Football Players: An Initial Study. *Sports Health* **2013**, *5*, 417–422, doi:10.1177/1941738113498703.
75. Smith, C.A.; Chimera, N.J.; Warren, M. Association of Y Balance Test Reach Asymmetry and Injury in Division I Athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2015**, *47*, 136–141, doi:10.1249/MSS.0000000000000380.
76. Gribble, P.A.; Hertel, J.; Plisky, P. Using the Star Excursion Balance Test to Assess Dynamic Postural-Control Deficits and Outcomes in Lower Extremity Injury: A Literature and Systematic Review. *J. Athl. Train.* **2012**, *47*, 339–357, doi:10.4085/1062-6050-47.3.08.
77. Meyers, M.C. Incidence, Mechanisms, and Severity of Game-Related College Football Injuries on FieldTurf Versus Natural Grass. *Am. J. Sports Med.* **2010**, *38*, 687–697, doi:10.1177/0363546509352464.
78. Hertel, J.; Braham, R.A.; Hale, S.A.; Olmsted-Kramer, L.C. Simplifying the Star Excursion Balance Test: Analyses of Subjects with and without Chronic Ankle Instability. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2006**, *36*, 131–137, doi:10.2519/jospt.2006.36.3.131.
79. Herrington, L.; Hatcher, J.; Hatcher, A.; McNicholas, M. A Comparison of Star Excursion Balance Test Reach Distances between ACL Deficient Patients and Asymptomatic Controls. *Knee* **2009**, *16*, 149–152, doi:10.1016/j.knee.2008.10.004.
80. Hegedus, E.J.; McDonough, S.M.; Bleakley, C.; Baxter, D.; Cook, C.E. Clinician-Friendly Lower Extremity Physical Performance Tests in Athletes: A Systematic Review of

- Measurement Properties and Correlation with Injury. Part 2-the Tests for the Hip, Thigh, Foot and Ankle Including the Star Excursion Balance Test. *Br. J. Sports Med.* **2015**, *49*, 649–656, doi:10.1136/bjsports-2014-094341.
81. Hartley, E.M.; Hoch, M.C.; Boling, M.C. Y-Balance Test Performance and BMI Are Associated with Ankle Sprain Injury in Collegiate Male Athletes. *J. Sci. Med. Sport* **2018**, *21*, 676–680, doi:10.1016/j.jsams.2017.10.014.
 82. Johnston, W.; O'Reilly, M.; Duignan, C.; Liston, M.; McLoughlin, R.; Coughlan, G.F.; Caulfield, B. Association of Dynamic Balance With Sports-Related Concussion: A Prospective Cohort Study. *Am. J. Sports Med.* **2019**, *47*, 197–205, doi:10.1177/0363546518812820.
 83. Booyesen, M.J.; Gradidge, P.J.L.; Watson, E. The Relationships of Eccentric Strength and Power with Dynamic Balance in Male Footballers. *J. Sports Sci.* **2015**, *33*, 2157–2165, doi:10.1080/02640414.2015.1064152.
 84. Leetun, D.T.; Ireland, M.L.; Willson, J.D.; Ballantyne, B.T.; Davis, I.M.C. Core Stability Measures as Risk Factors for Lower Extremity Injury in Athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2004**, *36*, 926–934, doi:10.1249/01.MSS.0000128145.75199.C3.
 85. López-Valenciano, A.; Ayala, F.; De Ste Croix, M.; Barbado, D.; Vera-Garcia, F.J. Different Neuromuscular Parameters Influence Dynamic Balance in Male and Female Football Players. *Knee Surgery, Sport. Traumatol. Arthrosc.* **2019**, *27*, 962–970, doi:10.1007/s00167-018-5088-y.
 86. Wilson, B.R.; Robertson, K.E.; Burnham, J.M.; Yonz, M.C.; Ireland, M.L.; Noehren, B. The Relationship between Hip Strength and the Y Balance Test. *J. Sport Rehabil.* **2018**, *27*, 445–450, doi:10.1123/jsr.2016-0187.
 87. Hubbard, T.J.; Kramer, L.C.; Denegar, C.R.; Hertel, J. Correlations among Multiple Measures of Functional and Mechanical Instability in Subjects with Chronic Ankle Instability. *J. Athl. Train.* **2007**, *42*, 361–366.
 88. Overmoyer, G. V.; Reiser, R.F. Relationships Between Lower-Extremity Flexibility, Asymmetries, and the Y Balance Test. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, 1240–1247, doi:10.1519/JSC.0000000000000693.
 89. Robinson, R.; Gribble, P. Kinematic Predictors of Performance on the Star Excursion Balance Test. *J. Sport Rehabil.* **2008**, *17*, 347–357, doi:10.1123/jsr.17.4.347.
 90. Schubert, M.; Beck, S.; Taube, W.; Amtage, F.; Faist, M.; Gruber, M. Balance Training and Ballistic Strength Training Are Associated with Task-Specific Corticospinal Adaptations. *Eur. J. Neurosci.* **2008**, *27*, 2007–2018, doi:10.1111/j.1460-9568.2008.06186.x.
 91. Lephart, S.M.; Pincivero, D.M.; Giraldo, J.L.; Fu, F.H. The Role of Proprioception in the Management and Rehabilitation of Athletic Injuries. *Am. J. Sports Med.* **1997**, *25*, 130–137, doi:10.1177/036354659702500126.
 92. Gebel, A.; Lesinski, M.; Behm, D.G.; Granacher, U. Effects and Dose–Response Relationship of Balance Training on Balance Performance in Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport. Med.* **2018**, *48*, 2067–2089, doi:10.1007/s40279-018-0926-0.
 93. Filipa, A.; Byrnes, R.; Paterno, M. V.; Myer, G.D.; Hewett, T.E. Neuromuscular Training Improves Performance on the Star Excursion Balance Test in Young Female Athletes. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2010**, *40*, 551–558, doi:10.2519/jospt.2010.3325.
 94. Imai, A.; Kaneoka, K.; Okubo, Y.; Shiraki, H. Effects of Two Types of Trunk Exercises on Balance and Athletic Performance in Youth Soccer Players. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2014**,

- 9, 47–57.
95. Boccolini, G.; Brazziti, A.; Bonfanti, L.; Alberti, G. Using Balance Training to Improve the Performance of Youth Basketball Players. *Sport Sci. Health* **2013**, *9*, 37–42, doi:10.1007/s11332-013-0143-z.
 96. Taube, W.; Kullmann, N.; Leukel, C.; Kurz, O.; Amtage, F.; Gollhofer, A. Differential Reflex Adaptations Following Sensorimotor and Strength Training in Young Elite Athletes. *Int. J. Sports Med.* **2007**, *28*, 999–1005, doi:10.1055/s-2007-964996.
 97. Mahmoud, M.H. Balance Exercises as the Basis for Developing the Level of Physical and Skill Performance in Basketball Young Players. *World J. Sport Sci.* **2011**, *4*, 172–178.
 98. Strollo, S.E.; Caserotti, P.; Ward, R.E.; Glynn, N.W.; Goodpaster, B.H.; Strotmeyer, E.S. A Review of the Relationship between Leg Power and Selected Chronic Disease in Older Adults. *J. Nutr. Heal. Aging* **2015**, *19*, 240–248, doi:10.1007/s12603-014-0528-y.
 99. Wilczyński, B.; Hincă, J.; Ślęzak, D.; Zorena, K. The Relationship between Dynamic Balance and Jumping Tests among Adolescent Amateur Rugby Players. A Preliminary Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 1–10, doi:10.3390/ijerph18010312.
 100. Markovic, Goran; Dizdār, Dražan; Jukić, Igor; Cardinale, M. Reliability and Factorial Validity of Squat and Countermovement Jump Tests. *J. Strength Cond. Res.* **2004**, *18*, 551–555.
 101. Kockum, B.; Heijne, A.I.L.M. Hop Performance and Leg Muscle Power in Athletes: Reliability of a Test Battery. *Phys. Ther. Sport* **2015**, *16*, 222–227, doi:10.1016/j.ptsp.2014.09.002.
 102. Goossens, L.; Witvrouw, E.; Vanden Bossche, L.; De Clercq, D. Lower Eccentric Hamstring Strength and Single Leg Hop for Distance Predict Hamstring Injury in PETE Students. *Eur. J. Sport Sci.* **2015**, *15*, 436–442, doi:10.1080/17461391.2014.955127.
 103. Erkmen, N.; Taşkin, H.; Sanioğlu, A.; Kaplan, T.; Baştürk, D. Relationships between Balance and Functional Performance in Football Players. *J. Hum. Kinet.* **2010**, *26*, 21–29, doi:10.2478/v10078-010-0044-z.
 104. Granacher, U.; Gollhofer, A. Is There an Association between Variables of Postural Control and Strength in Prepubertal Children? *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 210–216, doi:10.1519/JSC.0b013e31821b7c30.
 105. Padua, D.A.; Marshall, S.W.; Boling, M.C.; Thigpen, C.A.; Garrett, W.E.; Beutler, A.I. The Landing Error Scoring System (LESS) Is a Valid and Reliable Clinical Assessment Tool of Jump-Landing Biomechanics: The Jump-ACL Study. *Am. J. Sports Med.* **2009**, *37*, 1996–2002, doi:10.1177/0363546509343200.
 106. Padua, D.A.; DiStefano, L.J.; Beutler, A.I.; De La Motte, S.J.; DiStefano, M.J.; Marshall, S.W. The Landing Error Scoring System as a Screening Tool for an Anterior Cruciate Ligament Injury-Prevention Program in Elite-Youth Soccer Athletes. *J. Athl. Train.* **2015**, *50*, 589–595, doi:10.4085/1062-6050-50.1.10.
 107. Šiupšinskas, L.; Garbenytė-Apolinskienė, T.; Salatkaitė, S.; Gudas, R.; Trumpickas, V. Association of Pre-Season Musculoskeletal Screening and Functional Testing with Sports Injuries in Elite Female Basketball Players. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 1–7, doi:10.1038/s41598-019-45773-0.
 108. Johnson, A.; Farooq, A.; Whiteley, R. Skeletal Maturation Status Is More Strongly Associated with Academy Selection than Birth Quarter. *Sci. Med. Footb.* **2017**, *1*, 157–163, doi:10.1080/24733938.2017.1283434.

109. Cumming, S.P. A Game Plan for Growth: How Football Is Leading the Way in the Consideration of Biological Maturation in Young Male Athletes. *Ann. Hum. Biol.* **2018**, *45*, 373–375, doi:10.1080/03014460.2018.1513560.
110. Malina, R.M.; Rogol, A.D.; Cumming, S.P.; Coelho E Silva, M.J.; Figueiredo, A.J. Biological Maturation of Youth Athletes: Assessment and Implications. *Br. J. Sports Med.* **2015**, *49*, 852–859, doi:10.1136/bjsports-2015-094623.
111. Hill, M.; Scott, S.; Malina, R.M.; McGee, D.; Cumming, S.P. Relative Age and Maturation Selection Biases in Academy Football. *J. Sports Sci.* **2020**, *38*, 1359–1367, doi:10.1080/02640414.2019.1649524.
112. Mirwald, R.L.; Baxter-Jones, A.D.G.; Bailey, D.A.; Beunen, G.P. An Assessment of Maturity from Anthropometric Measurements. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2002**, *34*, 689–694, doi:10.1249/00005768-200204000-00020.
113. Müller, L.; Hildebrandt, C.; Müller, E.; Fink, C.; Raschner, C. Long-Term Athletic Development in Youth Alpine Ski Racing: The Effect of Physical Fitness, Ski Racing Technique, Anthropometrics and Biological Maturity Status on Injuries. *Front. Physiol.* **2017**, *8*, 1–11, doi:10.3389/fphys.2017.00656.
114. Sherar, L.B.; Baxter-Jones, A.D.G.; Faulkner, R.A.; Russell, K.W. Do Physical Maturity and Birth Date Predict Talent in Male Youth Ice Hockey Players? *J. Sports Sci.* **2007**, *25*, 879–886, doi:10.1080/02640410600908001.
115. Waldron, M.; Twist, C.; Highton, J.; Worsfold, P.; Daniels, M. Movement and Physiological Match Demands of Elite Rugby League Using Portable Global Positioning Systems. *J. Sports Sci.* **2011**, *29*, 1223–1230, doi:10.1080/02640414.2011.587445.
116. Plisky, P.J.; Gorman, P.P.; Butler, R.J.; Kiesel, K.B.; Underwood, F.B.; Elkins, B. The Reliability of an Instrumented Device for Measuring Components of the Star Excursion Balance Test. *N. Am. J. Sports Phys. Ther.* **2009**, *4*, 92–99.
117. Picot, B.; Terrier, R.; Forestier, N.; Fourchet, F.; McKeon, P.O. The Star Excursion Balance Test: An Update Review and Practical Guidelines. *Int. J. Athl. Ther. Train.* **2021**, *26*, 285–293, doi:10.1123/ijatt.2020-0106.
118. Castagna, Carlo; Castellini, E. VERTICAL JUMP PERFORMANCE IN ITALIAN MALE AND FEMALE NATIONAL TEAM SOCCER PLAYERS. *J. Strength Cond. Res.* **2013**, Apr;27(4).
119. Gheller, R.G.; Dal Pupo, J.; Ache-Dias, J.; Detanico, D.; Padulo, J.; dos Santos, S.G. Effect of Different Knee Starting Angles on Intersegmental Coordination and Performance in Vertical Jumps. *Hum. Mov. Sci.* **2015**, *42*, 71–80, doi:10.1016/j.humov.2015.04.010.
120. Smith, H.C.; Johnson, R.J.; Shultz, S.J.; Tourville, T.; Holterman, L.A.; Slauterbeck, J.; Vacek, P.M.; Beynon, B.D. A Prospective Evaluation of the Landing Error Scoring System (LESS) as a Screening Tool for Anterior Cruciate Ligament Injury Risk. *Am. J. Sports Med.* **2012**, *40*, 521–526, doi:10.1177/0363546511429776.
121. Peat, J.; Barton, B.; Elliott, E. *Statistics Workbook for Evidence-Based Health Care*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2009;
122. Wilczyński, B.; Radzimiński, Ł.; Sobierajska-Rek, A.; Zorena, K. Association between Selected Screening Tests and Knee Alignment in Single-Leg Tasks among Young Football Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 6719, doi:10.3390/ijerph19116719.
123. Willson, J.D.; Ireland, M.L.; Davis, I. Core Strength and Lower Extremity Alignment during Single Leg Squats. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2006**, *38*, 945–952, doi:10.1249/01.mss.0000218140.05074.fa.

124. Gwynne, C.R.; Curran, S.A. Quantifying Frontal Plane Knee Motion during Single Limb Squats: Reliability and Validity of 2-Dimensional Measures. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2014**, *9*, 898–906.
125. Herrington, L.; Alenezi, F.; Alzhrani, M.; Alrayani, H.; Jones, R. The Reliability and Criterion Validity of 2D Video Assessment of Single Leg Squat and Hop Landing. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **2017**, *34*, 80–85, doi:10.1016/j.jelekin.2017.04.004.
126. Hardy, L.; Huxel, K.; Brucker, J.; Nesser, T. Prophylactic Ankle Braces and Star Excursion Balance Measures in Healthy Volunteers. *J. Athl. Train.* **2008**, *43*, 347–351, doi:10.4085/1062-6050-43.4.347.
127. Manning, C.; Hudson, Z. Comparison of Hip Joint Range of Motion in Professional Youth and Senior Team Footballers with Age-Matched Controls: An Indication of Early Degenerative Change? *Phys. Ther. Sport* **2009**, *10*, 25–29, doi:10.1016/j.ptsp.2008.11.005.
128. Hoch, M.C.; Staton, G.S.; McKeon, P.O. Dorsiflexion Range of Motion Significantly Influences Dynamic Balance. *J. Sci. Med. Sport* **2011**, *14*, 90–92, doi:10.1016/j.jsams.2010.08.001.
129. Powden, C.J.; Hoch, J.M.; Hoch, M.C. Reliability and Minimal Detectable Change of the Weight-Bearing Lunge Test: A Systematic Review. *Man. Ther.* **2015**, *20*, 524–532, doi:10.1016/j.math.2015.01.004.
130. Kendall, F.P.; Kendall McCreary, E.; Patricia Geise, P.R. *Muscles, Testing and Function: With Posture and Pain*; Lippincott Williams & Wilkins, Ed.; Fourth ed.; Philadelphia, PA, 1993; ISBN 9780683045765, 0683045768.
131. De Lucena, G.L.; Dos Santos Gomes, C.; Oliveira Guerra, R. Prevalence and Associated Factors of Osgood-Schlatter Syndrome in a Population-Based Sample of Brazilian Adolescents. *Am. J. Sports Med.* **2011**, *39*, 415–420, doi:10.1177/0363546510383835.
132. Patsatsi, A.; Kyriakou, A.; Werth, V.P. Bullous Pemphigoid in Adolescence. *Pediatr. Dermatol.* **2019**, *36*, 184–188, doi:10.1111/pde.13717.
133. Habelt, S.; Hasler, C.C.; Steinbrück, K.; Majewski, M. Sport Injuries in Adolescents. *Orthop. Rev. (Pavia)*. **2011**, *3*, 18, doi:10.4081/or.2011.e18.
134. Read, P.J.; Oliver, J.L.; De Ste Croix, M.B.A.; Myer, G.D.; Lloyd, R.S. Assessment of Injury Risk Factors in Male Youth Soccer Players. *Strength Cond. J.* **2016**, *38*, 12–21, doi:10.1519/SSC.0000000000000184.
135. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioural Sciences*; 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates, Publishers: Hillsdale, NJ, USA, 1988;
136. Kramer, T.A.; Sacko, R.S.; Pfeifer, C.E.; Gatens, D.R.; Goins, J.M.; Stodden, D.F. The Association Between the Functional Movement Screen Tm , Y-Balance Test, and Physical Performance Tests in Male and Female High School Athletes . *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2019**, *14*, 911–919, doi:10.26603/ijsp20190911.
137. Dawson, S.J.; Herrington, L. Improving Single-Legged-Squat Performance: Comparing 2 Training Methods with Potential Implications for Injury Prevention. *J. Athl. Train.* **2015**, *50*, 921–929, doi:10.4085/1062-6050-50.9.03.
138. Sasaki, S.; Tsuda, E.; Yamamoto, Y.; Maeda, S.; Kimura, Y.; Fujita, Y.; Ishibashi, Y. Core-Muscle Training and Neuromuscular Control of the Lower Limb and Trunk. *J. Athl. Train.* **2019**, *54*, 959–969, doi:10.4085/1062-6050-113-17.
139. Hopper, A.J.; Haff, E.E.; Joyce, C.; Lloyd, R.S.; Haff, G.G. Neuromuscular Training Improves

- Lower Extremity Biomechanics Associated with Knee Injury during Landing in 11-13 Year Old Female Netball Athletes: A Randomized Control Study. *Front. Physiol.* **2017**, *8*, doi:10.3389/fphys.2017.00883.
140. Marshall, A.N.; Hertel, J.; Hart, J.M.; Russell, S.; Saliba, S.A. Visual Biofeedback and Changes in Lower Extremity Kinematics in Individuals with Medial Knee Displacement. *J. Athl. Train.* **2020**, *55*, 255–264, doi:10.4085/1062-6050-383-18.
141. Schulz, K.F.; Altman, D.G.; Moher, D. CONSORT 2010 Statement: Updated Guidelines for Reporting Parallel Group Randomised Trials. *BMJ* **2010**, *340*, 698–702, doi:10.1136/bmj.c332.
142. Micheal Clark; Scott Lucett; Brian G Sutton; *NASM Essentials of Corrective Exercise Training*; Jones & Bartlett Learning: Burlington, MA, USA, 2014;
143. Wilczyński, B.; Wąż, P.; Zorena, K. Impact of Three Strengthening Exercises on Dynamic Knee Valgus and Balance with Poor Knee Control among Young Football Players: A Randomized Controlled Trial. *Healthcare* **2021**, *9*, 558, doi:10.3390/healthcare9050558.
144. Powden, C.J.; Dodds, T.K.; Gabriel, E.H. The Reliability of the Star Excursion Balance Test and Lower Quarter Y-Balance Test in Healthy Adults: A Systematic Review. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2019**, *14*, 683–694, doi:10.26603/ijsp120190683.

7. Streszczenie

Uprawianie sportu przez dzieci i młodzież ma pozytywne jak i negatywne aspekty. Do negatywnych skutków należy w głównej mierze występowanie urazów narządu ruchu. Fundamentem opieki nad młodymi sportowcami powinna być prewencja urazów. Aby zaprojektować skuteczny program profilaktyczny, należy poznać i skupić się na modyfikowalnych czynnikach ryzyka urazów. W niniejszej pracy doktorskiej skupiono się na dwóch czynnikach ryzyka, dynamicznej koślawości kolana oraz ograniczonej dynamicznej równowadze wśród młodych sportowców. Poznanie tych czynników odbyło się za pomocą oceny związków z innymi zdolnościami motorycznymi oraz dojrzewaniem biologicznym w cyklu 4 publikacji. W ostatniej piątej publikacji, przedstawiono program treningowy, który miał za zadanie poprawić zdolności dynamicznej równowagi i zmniejszyć dynamiczną koślawość kolana u młodych sportowców.

W pierwszej pracy badawczej wykazano istotną umiarkowaną do silnej dodatnią korelację między dynamiczną równowagą, a mocą kończyn dolnych u 31 młodzieżowych rugbystów. Dynamiczna równowaga (we wszystkich kierunkach, z wyjątkiem przedniego) okazały się umiarkowanymi predyktorami mocy kończyn dolnych jednonóż (w teście SLHD). Ponadto, wyniki przeprowadzonego badania sugerują, że nieprawidłowe wzorce zadań skoku-lądowania w teście LESS nie mają istotnego związku z równowagą dynamiczną i mocą kończyn dolnych.

W drugim badaniu uczestniczyło 43 młodych piłkarzy nożnych. Badani z większym zakresem ruchomości rotacji zewnętrznej i wewnętrznej stawu biodrowego, większym zakresem zgięcia kręgosłupa i mniejszym zakresem ruchu zgięcia grzbietowego w stawie skokowym wykazali większą skłonność do większej dynamicznej koślawości kolan w zadaniach ruchowych jednonóż. Zakres ruchomości rotacji zewnętrznej stawu biodrowego oraz test siadania i sięgania może pomóc w predykcji dynamicznej koślawości kolan podczas przysiadu jednonóż.

Trzecie badanie ujawniło zależności między dynamiczną równowagą, a mocą kończyn dolnych u 72 młodych piłkarzy nożnych. Ponadto, wykazano, iż status biologiczny może wyjaśniać w dużym stopniu wydajność skoku, a w mniejszym stopniu dynamiczną równowagę. Wyniki badania sugerują, że akademie piłkarskie, praktycy sportowi i badacze powinni brać pod uwagę dojrzewanie biologiczne podczas oceny wyników sportowych, projektowania rehabilitacji i treningu wzmacniającego w celu analizy i zapobiegania urazom sportowym.

Ostatnia publikacja była randomizowanym badaniem, w którym ostatecznie wzięło udział 35 młodych piłkarzy. Wyniki wykazały brak istotnych statystycznie różnic między grupami w kątach dynamicznej koślawości kolana i wartościach dynamicznej równowagi po 6 tygodniach ćwiczeń wzmacniających. Pomimo, istotnych statystycznie zmian w grupie ćwiczącej dla kończyny dolnej prawej w dynamicznej równowadze (w kierunkach ANT, PM i COM) oraz lewej w kierunku ANT, zmiany nie były istotne klinicznie.

Podsumowując, wyniki badań wskazują na związek zdolności motorycznych oraz dojrzewania biologicznego z dynamiczną koślawością i dynamiczną równowagą u młodych sportowców. Ponadto, sześciotygodniowy program ćwiczeń wzmacniający mięśnie pośladkowy średni, podkolanowy i piszczelowy tylny nie był skuteczny w poprawie

dynamicznej koślawości kolan i dynamicznej równowadze u młodych piłkarzy ze słabą kontrolą kolan.

Słowa kluczowe: biomechanika, profilaktyka urazów, fizjoterapia sportowa, młodzieżowy sport

8. Abstract

Title: **“Dynamic knee valgus and dynamic balance in young athletes. Motor skills and musculoskeletal injury prevention”**

The practice of sports by children and adolescents has positive as well as negative aspects. The negative consequences include, mainly the occurrence of musculoskeletal injuries. The foundation of care for young athletes should be injury prevention. To design an effective preventive program, it is necessary to identify and focus on modifiable injury risk factors. This dissertation focuses on two risk factors, excessive dynamic knee valgus and limited dynamic balance among young athletes. Exploration of these factors was done by assessing associations with other motor skills and biological maturation in a series of 4 publications. In the final fifth publication, a training program was presented to improve dynamic balance abilities and reduce dynamic knee valgus.

The first research paper showed a significant moderate to strong positive correlation between dynamic balance and lower limb power in 31 youth rugby players. Dynamic balance (in all directions except anterior) proved to be moderate predictors of single-leg lower limb power (in the SLHD test). In addition, the results of the study suggest that abnormal jump-landing task

patterns in the LESS test are not significantly related to dynamic balance and lower limb power.

Forty-three youth soccer players participated in the second study. Subjects with greater range of motion of external and internal rotation of the hip joint, greater range of spinal flexion and less dorsiflexion range of motion at the ankle joint may be more prone to greater knee valgus in single-leg movement tasks. Hip external rotation range of motion and the sit-and-reach test can help predict knee valgus during the single-leg squat. The third study revealed relationships between dynamic balance and lower limb power in 72 youth soccer players. In addition, it was shown that biological status can explain to a large extent jump performance and to a lesser extent dynamic balance. The results of the study suggest that soccer academies, sports practitioners and researchers should take biological maturation into account when evaluating sports performance, designing rehabilitation and strengthening training to analyze and prevent sports injuries.

The last publication was a randomized study that ultimately included 35 youth soccer players. The results showed no statistically significant differences between the groups in dynamic knee valgus angles and dynamic balance values after 6 weeks of strengthening exercises. Despite, statistically significant changes in the exercise group for the right lower limb in dynamic balance (in the ANT, PM and COM directions) and the left in the ANT direction, the changes were not clinically significant.

In conclusion, the results of the study indicate that specific motor skills and biological maturation are related to dynamic valgus and dynamic balance in young athletes. In addition, a six-week exercise program to strengthen the gluteus medius, popliteus and posterior tibialis muscles was not effective in improving dynamic knee valgus and dynamic balance in young soccer players with poor knee control.

Keywords: biomechanics, injury prevention, sports physiotherapy, youth sport

9. Spis tabel i rycin

Rycina 1. Przykład dynamicznej koślawości kolana - ruch kolana do wewnątrz od pozycji stopy (A) oraz prawidłowy wzorzec ruchu - kolano pod stopą (B) podczas przysiadu jednonóż. Ocena ilościowa koślawości - kąt pomiędzy kolcem biodrowym przednim górnym, rzepką i środkiem między kostką boczną a przyśrodkową (A)-145°, (B)-180°. Rycina zapożyczona z publikacji Wilczyński i wsp. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> . 2020;17(21):8208 [35].	14
Rycina 2. Test Y-Balance Test kierunek tylnoboczny. Materiał własny.	31
Rycina 3. Uczestnik wykonujący test Counter movement jump. Materiał własny.	32
Rycina 4. Uczestnik wykonujący test Single Leg Hop for distance. Materiał własny.	33
Rycina 5. Rycina zapożyczona z publikacji Smith i wsp. 2012[120].	33
Rycina 6. Rozmieszczenie kamer, strefy lądowania i pudła, z którego uczestnicy wykonywali skok i lądowanie w teście LESS. Materiał własny.....	34

Rycina 7 Przykładowa ocena koślawości kolana w FPPA 2D w testach SLS i SLL. (A,B) kąt początkowy SLS (176°) i koniec badania (169°) oraz (C,D) kąt początkowy SLL (176°) i koniec badania (161°). Rycina z publikacji Wilczyński i wsp. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> . 2022; 19(11):6719. [122].....	40
Rycina 8. Wykonanie testu SEBT. Materiał zapożyczony z publikacji Hardy et al. 2008 [126].....	41
Rycina 9. Schemat wg. CONSORT (Consolidated Standards of reporting trials – skonsolidowane standardy raportowania badań klinicznych) w zakresie rekrutacji i utrzymywania badań.	52
Rycina 10. Analizy wideo testu SLS w projekcji czołowej i strzałkowej. (A) i (C)- kąt początkowy, początek testu, (B) i (D)- maksymalne DKV [58].....	53
Rycina 11. Pozycja początkowa i końcowa ćwiczenia. (A,B)- ćwiczenie mięśnia pośladkowego średniego, (C,D)- ćwiczenie mięśnia podkolanowego, (E,F)- ćwiczenie mięśnia piszczelowego tylnego [58].	55
Rycina 12. Średnia z SD (°) dla obu grup w okresie przed interwencją i po interwencji dla (a) kątów koślawości prawego kolana i (b) kątów koślawości lewego kolana.....	56
Tabela 1. Opis ćwiczeń oraz progresja tygodniowa [143].	54
Wzór 1. Wzór obliczenia kierunku Złożonego, gdzie COM oznacza COMPOSITE, ANT – Anterior, PL – Posterolateral, PM – Posteromedial, LL – Lower Limb Length).	31

10. Załączniki

